В. Д. КРЫЖАНОВСКИЙ
Ю. В. КОСТЫКОВ

ТЕЛЕВИДЕНИЕ
ЦВЕТНОЕ И ЧЕРНО-БЕЛОЕ



В. Д. КРЫЖАНОВСКИЙ
Ю.В. КОСТЫКОВ

ТЕЛЕВИДЕНИЕ

ЦВЕТНОЕ И ЧЕРНО-БЕЛОЕ

МОСКВА «СВЯЗЬ» 1980

ББК 32.94
К85
УДК 621.397.13

Крыжановский В. Д., Костыков Ю. В.

К85 Телевидение цветное и черно-белое. — М.: Связь, 1980. — 336 с., ил.

В пер.: 1 р. 50 к.

Описывается техника современного телевидения. Излагаются принципы построения и работа различных узлов и блоков передающей и приемной телевизионной аппаратуры. Особое внимание уделяется физическим явлениям, происходящим в аппаратуре цветного телевидения. Книга написана просто, доходчиво, без применения сложного математического аппарата, с использованием большого количества наглядных иллюстраций.

Для инженерно-технических работников радиопромышленности, приемной телевизионной сети; может быть полезна радиолюбителям и владельцам телевизоров.

К $\frac{30403-097}{045(01)-80}$ 36—80 2402020000 ББК 32.94
6Ф3

РЕЦЕНЗЕНТ С. В. НОВАКОВСКИЙ

Владимир Дмитриевич Крыжановский
Юрий Васильевич Костыков

ТЕЛЕВИДЕНИЕ ЦВЕТНОЕ И ЧЕРНО-БЕЛОЕ

Отв. редактор Д. П. Бриллиантов
Редактор И. С. Балашова
Художник А. В. Проценко
Худож. редактор А. А. Данилин
Техн. редактор К. Г. Маркоч
Корректор Л. В. Алексеева

ИБ № 318

Сдано в набор 28.03.80 г. Подп. в печ. 26.05.80 г.
Т-09691 Формат 60×90/16 Бумага тип. № 2 Гарнитура литературная
Печать высокая Усл. печ. л. 21,0 Уч.-изд. л. 24,77 Тираж 40 000 экз. доп.
Изд. № 17880 Зак. № 188 Цена 1 р. 50 к.
10 000 экз. Бумага тип. № 1 Цена 1 р. 60 к.
30 000 экз. Бумага тип. № 2 Цена 1 р. 50 к.
Издательство «Связь». Москва 101000, Чистопрудный бульвар, д. 2

Типография издательства «Связь» Госкомиздата СССР
Москва 101000, ул. Кирова, д. 40

Оглавление

Предисловие

В настоящее время телевидение стало очень важным средством информации населения о событиях в стране и за рубежом, могучим средством идейного воздействия на духовную жизнь общества и сознание широчайших масс трудящихся. В этом смысле телевидение является более эффективным, чем радиовещание, которое В. И. Ленин называл газетой «... без бумаги и «без расстояний»...». Теперь эта газета стала иллюстрированной. XXV съезд КПСС наметил большие планы по дальнейшему развитию телевидения в нашей стране.

Широкое проникновение телевидения во все стороны человеческой деятельности, естественно, пробуждает большой интерес и к самой технике телевидения. Учитывая это, авторы задались целью написать книгу, рассчитанную на широкого читателя, имеющего подготовку в объеме средней школы и знакомого с основами электроники и радиотехники, в которой стремились к популярному и доходчивому изложению основ техники современного телевидения, принципов устройства и работы телевизионной аппаратуры, физики происходящих в ней процессов, не поступаясь при этом точностью и строгостью изложения.

Впервые книгу подобного назначения авторы написали в 1959 г. («Воениздат»). Книга была встречена читателями с большим интересом, в связи с чем ее пришлось еще дважды переиздать (в 1961 и 1965 гг.). В 1961 г. книга была переведена на румынский язык и издана в Бухаресте (издательство «Техника»). В переработанном виде книга была вновь издана в 1972 г. (издательство «Связь»), а в 1975 г. издательство «Мир» выпустило ее на арабском языке.

Общий тираж этих книг превысил 300 тыс. экземпляров.

Читатели и специалисты отмечали в них удачное сочетание популярности и доходчивости изложения с достаточной научной строгостью и точностью.

За время, прошедшее с издания предыдущих книг, телевидение сделало большой скачок — возросло не только качество передаваемого изображения, но и сами требования к телевизионной аппаратуре. Она стала значительно более совершенной, появились новые приборы, принцип работы которых основан на новых физических явлениях, новые схемные решения, ставшие возможными в результате широкого внедрения полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. На новой технической базе в нашей стране бурно развивается цветное телевизионное вещание и про-

исходит широкое внедрение телевидения во многие отрасли народного хозяйства.

В связи со значительным обновлением в последние годы телевизионной техники авторам пришлось данную книгу написать фактически полностью заново. Изложение многих потерявших актуальность вопросов было полностью изъято или резко сокращено, в то время как многие новые вопросы рассмотрены вновь или более подробно, чем прежде. Так, например, большое внимание было уделено новым датчикам телевизионных сигналов для цветного и черно-белого телевидения. Более подробно рассмотрены основы учения о цвете, современные совместимые системы цветного телевидения, устройство и работа новых типов цветных кинескопов и т. д.

Книга, как отмечалось выше, предназначена для широкого круга читателей, имеющих подготовку в объеме средней школы и знакомых с физическими основами радиотехники, в частности для работников радиопромышленности, телевизионных центров, приемной телевизионной сети, радиолюбителей и любознательных владельцев телевизоров. Книга, по-видимому, окажется полезной для учащихся техникумов. Для студентов вузов она может служить в качестве справочного материала, содержащего полезные сведения в виде схем и популярного описания физических процессов в них и в электронно-лучевых приборах, в аппаратуре черно-белого и цветного телевидения.

Заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
лауреат Государственной премии,
доктор технических наук профессор
С. В. Новаковский

Введение

Телевидением называется обширная область современной радиоэлектроники, занимающаяся вопросами передачи и приема изображений различных предметов на расстояние по электрическим каналам связи.

Первое время после своего появления телевидение использовалось в основном для телевизионного вещания, т. е. для передачи широким кругам населения известий о последних событиях в международной и внутренней жизни страны, концертов, спектаклей, кинофильмов, спортивных соревнований и других видов зрительной информации, представляющей широкий общественный интерес.

Жизнь показала, что подобная визуальная информация настолько привлекательна, интересна и пользуется всеобщим вниманием, что началось бурное распространение телевизионного вещания.

Телевизионное вещание стало неотъемлемым спутником нашей жизни. Число телевизоров, находящихся в пользовании у населения нашей страны, превысило 65 миллионов. Почти каждая семья имеет телевизор. Для междугородной передачи телевизионных программ страна охвачена сетью радиорелейных и кабельных линий связи. Телевизионные программы излучаются более чем 500 мощными и примерно 2000 маломощными ретрансляционными станциями. В космическом пространстве работают спутники-ретрансляторы телевизионных программ МОЛНИЯ-1, 2 и 3, ЭКРАН, РАДУГА, СТАЦИОНАР и другие, позволяющие передавать программы Центрального телевидения в удаленные районы страны, где установлены наземные приемные станции ОРБИТА и ЭКРАН. Сейчас число этих станций превысило девятый десяток.

В результате телевидение стало одним из самых массовых и популярных средств политического, культурного и художественного воспитания трудящихся. Более семидесяти процентов населения страны смотрят передачи Центрального телевидения.

Телевидение объединяет и связывает народы не только нашей страны, но и различных стран, позволяет им лучше узнать друг друга. Для координации работ по международному обмену телевизионными программами созданы специальные международные организации. Социалистические страны Болгария, Венгрия, ГДР, Польша, Румыния, Советский Союз и Чехословакия, а также Финляндия составляют так называемую систему ИНТЕРВИДЕНИЕ. Страны Западной Европы объединены в систему ЕВРОВИДЕ-

НИЕ. Страны, входящие в ту или иную систему, соединены друг с другом специальными широкополосными каналами связи. Так, например, в системе ИНТЕРВИДЕНИЕ страны связаны коаксиальной кабельной магистралью, проходящей по городам Берлин — Прага — Катовице — Львов — Москва. Кроме того, имеются радиорелейные линии Берлин—Варшава—Москва, София—Бухарест—Будапешт—Москва, Хельсинки—Москва и др.

Ежедневно страны системы ИНТЕРВИДЕНИЕ осуществляют обмен актуальными телевизионными новостями. Поочередно каждая страна передает другим телевизионные программы и сообщения о последних событиях и новостях дня; остальные в это время записывают эти передачи на видеомагнитофоны и затем показывают их в удобное время в выпусках телевизионных новостей, программах «Время», «Сегодня в мире» и т. п.

Некоторые страны системы ИНТЕРВИДЕНИЕ (ГДР, Чехословакия, Финляндия) имеют телевизионные каналы, связывающие их с соседними странами системы ЕВРОВИДЕНИЕ. Благодаря этому любая страна Европы при необходимости может получить передачу из любой соседней страны.

В процессе своего развития телевизионная техника проникла в промышленность, транспорт, научные исследования и другие области народного хозяйства, где стала применяться в качестве средства наблюдения и контроля в случаях, когда непосредственное наблюдение по тем или иным причинам невозможно, неудобно, неэффективно или опасно. Так, в промышленности она позволяет наблюдать за производственными процессами, работой конвейеров, прокатных станов, котельных, шахтных сооружений и т. п.

Позволяя получать мгновенно визуальную информацию, телевидение помогает оперативно управлять производственными процессами. На транспорте телевидение дает возможность наблюдать за состоянием и движением составов на станционных путях, сортировочных горках, положением судов при их шлюзовании или подходах к причалам.

Совмещение телевизионной камеры с микроскопом позволяет большой группе лиц одновременно рассматривать всевозможные микрообъекты. Широко известно успешное применение цветных телевизионных установок для наблюдения за хирургическими операциями и обучения им одновременно большой аудитории студентов-медиков.

Непрерывно расширяется применение телевидения под водой, где оно используется для всевозможных научных исследований, изучения жизни моря, обнаружения косяков рыбы, поиска затонувших судов, обследования подводных частей кораблей, плотин и других подводных сооружений.

Телевидение, используемое для решения тех или иных задач прикладного характера в промышленности, транспорте, науке и других областях народного хозяйства, стало называться *прикладным телевидением*.

Таким образом, в современном телевидении можно выделить два, в известной степени самостоятельных, направления: телевизионное вещание и прикладное телевидение.

Освоение космического пространства, начатое запуском в Советском Союзе 4 октября 1957 г. искусственного спутника Земли, привело к возникновению и быстрому развитию особой области телевизионной техники — *космического телевидения*. Назначение телевизионной аппаратуры, используемой в космосе, весьма многообразно, однако оно может быть сведено к следующим основным направлениям:

1. Передача изображений с космических кораблей и спутников для получения визуальной информации о поведении экипажа или аппаратуры, о ходе процесса стыковки космических кораблей и т. п.

2. Наблюдение с космических объектов за различными участками земной поверхности с целью осуществления научных исследований, метеорологии, картографии и т. п.

3. Получение изображений поверхности Луны, Марса, Венеры и других планет.

4. Ретрансляция телевизионных программ на большие расстояния с помощью искусственных спутников Земли для охвата телевизионным вещанием больших территорий.

5. Использование замкнутых телевизионных систем с видеомагнитофонами для просмотра в полете специальных технических видеофильмов по проведению сложных экспериментов, профилактических и ремонтных работ, а также для просмотра развлекательных программ.

Телевидение несомненно следует отнести к одному из самых значительных достижений человеческого разума. Наука о телевидении и телевизионная техника представляют собой сложный комплекс сведений и технических решений из самых различных областей знаний — светотехники, световой (геометрической) и электронной оптики, учения о фотоэлектричестве, электровакуумной и импульсной техники, техники радио и проводной связи и других областей знаний.

В основе телевизионной передачи лежат три важнейших физических процесса:

1. Преобразование световой энергии оптического изображения в электрические сигналы. Для этого преобразования используют явление фотоэффекта, открытого Г. Герцем в 1887 г. и фундаментально исследованного в 1888—1890 гг. профессором Московского университета А. Г. Столетовым.

2. Передача полученных электрических сигналов по каналам связи (как правило, с помощью радио, изобретенного А. С. Поповым).

3. Обратное преобразование принятых электрических сигналов в оптическое изображение. Это преобразование впервые осуществил с помощью электронно-лучевой трубки преподаватель Петер-

бургского технологического института Б. Л. Розинг (1907—1911 гг.).

Таким образом, в изобретение и создание важнейших узлов телевизионных систем весьма большой вклад внесли русские, а впоследствии советские ученые, такие, как П. И. Бахметьев, Б. Л. Розинг, П. В. Шмаков, С. И. Катаев, а также американцы Ч. Дженкинс и В. К. Зворыкин, англичанин Дж. Л. Берд, немец Ф. Шретер, француз Р. Бартлеми, поляк П. Нипков и многие, многие другие.

Темпы развития телевизионного вещания в Советском Союзе за последние десятилетия можно наглядно проиллюстрировать следующими цифрами:

Таблица

Показатель развития	1957 г.	1977 г.
Телевизионных станций	Менее 100	500 мощных и 2000 маломощных
Телевизоров	Примерно 1,5 млн.	65 млн.
Телезрителей	Менее 100 млн.	220 млн.

В октябре 1967 г., в дни празднования пятидесятилетия Советского государства, телевизионное вещание перешло к новому этапу своего развития — начались регулярные передачи из Москвы цветного телевидения.

Цветное изображение содержит значительно больше полезной информации, чем черно-белое. Цвет повышает художественную ценность изображения, уменьшает его отличие от оригинала, помогает зрителю полнее и быстрее воспринимать содержание изображения, повышает эмоциональность восприятия. Поэтому во всех технически передовых странах происходит быстрое развитие цветного телевидения.

Цветное телевидение появилось и начало развиваться, когда черно-белое телевидение уже получило широкое распространение — в эксплуатации у населения находились десятки миллионов черно-белых телевизоров. Поэтому перед разработчиками системы цветного телевидения была поставлена задача — создать такую систему, которая была бы совместимой с существующей системой черно-белого телевидения, т. е. чтобы имелась возможность приема передаваемых цветных передач в черно-белом виде существующими черно-белыми телевизорами и, наоборот, черно-белые программы принимать цветными телевизорами естественно в черно-белом виде.

В процессе решения поставленной задачи было предложено около трех десятков различных систем цветного телевидения [7.5].

Однако были стандартизованы и получили практическое применение только три системы:

1. NTSC (National Television System Committee — национальный комитет телевизионной системы); применяется в США, Канаде и ряде других стран американского континента, а также в Японии.

2. PAL (Phase Alternation Line — построчная перемена фазы); применяется в ФРГ, Англии и других капиталистических странах Европы.

3. СЕКАМ (от французского слова Secam-SEquence de Couleurs Avec Memoire — последовательная передача цветов с запоминанием); применяется во Франции, Советском Союзе и в большинстве социалистических стран.

XXV съездом КПСС поставлена задача максимально использовать возможность телевидения в идеологической работе партии. В связи с этим в десятой пятилетке предусмотрено ускорить дальнейшее развитие цветного телевидения, расширить зону уверенного приема телевизионных передач, используя с этой целью новые системы телесвязи через искусственные спутники Земли, ввести в действие около 100 новых телевизионных станций мощностью от 5 до 50 кВт и большое количество ретрансляторов малой мощности.

На смену сравнительно сложным спутникам связи МОЛНИЯ созданы спутники ЭКРАН, СТАЦИОНАР и другие, выводимые на круговую экваториальную орбиту с периодом обращения вокруг Земли 24 ч и вращающиеся в том же направлении, что и Земля. В результате спутник оказывается неподвижно висящим над Землей на высоте около 36 тыс. км. Три таких спутника, сдвинутые друг относительно друга на 1/3 орбиты, позволят осуществить передачу телевизионных программ почти по всему земному шару, кроме приполярных районов. Наземные станции, принимающие сигналы с «неподвижного» спутника, направлены на него своими антеннами; они не нуждаются в сложных непрерывно вращающихся и следящих за спутником антеннах.

Наряду с созданием передающей телевизионной сети разрабатывалась и приемная телевизионная аппаратура. Причем в начале серийного производства черно-белых телевизоров каждый завод разрабатывал свою схему телевизора и изготавливал для его сборки узлы и детали собственной конструкции. Это чрезвычайно затрудняло как производство телевизоров, так и обеспечение их запасными узлами и деталями для ремонта. Поэтому некоторое время спустя, на основе накопленного опыта были разработаны единые схемы телевизоров и унифицированные конструкции их узлов и деталей.

Аналогично происходила разработка цветных телевизоров. Сначала отдельными КБ и заводами были созданы неунифицированные телевизоры. Затем несколько позднее были выпущены унифицированные цветные телевизоры и первый из них — УЛПЦТ-59-II — унифицированный лампово-полупроводниковый

цветной телевизор второго класса на кинескопе с размером экрана по диагонали 59 см.

Однако созданием унифицированных цветных телевизоров не завершился прогресс в их разработке. Научно-исследовательские институты, КБ и заводы продолжают работы по их дальнейшему совершенствованию, в частности по замене радиоламп полупроводниковыми приборами, внедрению интегральных микросхем. Разрабатываются полупроводниковые унифицированные цветные телевизоры I, II и III классов блочно-модульной конструкции с применением интегральных микросхем, новых, более совершенных кинескопов, узлов и деталей телевизоров.

Телевизоры блочно-модульной конструкции содержат два основных блока: блок обработки сигнала БОС и блок развертки БР. В состав первого блока входят всеволновый селектор телевизионных каналов, каналы изображения, звукового сопровождения, яркости и цветности; в состав второго — канал синхронизации и генераторы строчной и кадровой разверток. Элементы схемы каждого блока будут в основном размещены в отдельных малогабаритных модулях.

Телевизоры блочно-модульной конструкции предполагается снабдить диагностическими устройствами на светодиодах. Наличие или отсутствие свечения определенных светодиодов позволит установить исправность соответствующего модуля. Это позволит резко сократить время на поиск неисправности и ремонт телевизора, который будет сводиться к замене неисправного модуля.

Одна из наиболее сложных и трудоемких операций при регулировке цветного телевизора — это сведение трех электронных лучей масочного кинескопа на трех элементах одной триады. Предполагается, что в новых телевизорах будут преимущественно применяться цветные кинескопы с компланарно (в горизонтальной плоскости) расположенными электронными прожекторами. Отверстия в теневой маске этих кинескопов представляют собой узкие вертикальные щели, а обычный точечный экран заменен экраном с вертикальными полосками люминофоров.

Кроме унифицированных телевизоров II класса с размером экрана по диагонали 61 см, уже давно серийно выпускаемых, начат также выпуск телевизоров I и II классов с размером диагонали 67 см, III класса с размером диагонали 51 см, а также портативных переносных цветных телевизоров IV класса с размером экрана по диагонали 32 и 25 см.

В 1980 г. планируется выпуск 2,3 млн. цветных телевизоров.

Для удобства эксплуатации и повышения надежности телевизоров приступили к замене механических переключателей телевизионных каналов электронной системой сенсорного[1] выбора программ (СВП), при которой переход с одной телевизионной программы на другую осуществляется прикосновением пальца руки к специальным контактным пластинкам.

---

[1] Sensum (лат.) — чувствовать.

Возросло в десятой пятилетке производство бытовых видеомагнитофонов. Уже несколько лет отечественная промышленность наряду со стационарными профессиональными видеомагнитофонами выпускает упрощенные — для осуществления репортажей и записи и воспроизведения телевизионных передач в домашних условиях. Однако эти видеомагнитофоны с записью на магнитную ленту пока еще сложны, громоздки и дороги. По-видимому, более удобной и доступной для массового потребления является видеозапись на диски, использование которой будет систематически расширяться.

Интенсивное развитие технической базы отечественного телевидения произошло в связи с проведением в Москве XXII Олимпийских игр. Советские специалисты использовали для телевизионных передач Олимпийских игр новейшую радиоэлектронную аппаратуру, так называемого третьего поколения. Эта аппаратура характеризуется широким применением интегральных схем, новых конструкций, увеличением автоматизации, улучшением качественных параметров. Из Москвы в дни Олимпийских игр будут передаваться более 20 телевизионных программ. В местах проведения олимпийских соревнований запланировано установить около трехсот цветных телевизионных камер и задействовано более 70 передвижных станций. Для обеспечения всех необходимых передач в дополнение к существовавшему телецентру имени 50-летия Октября был сооружен специальный Олимпийский телерадиокомплекс.

Телевизионные изображения олимпийских соревнований будут передаваться по сетям ИНТЕРВИДЕНИЕ и ЕВРОВИДЕНИЕ и системам спутниковой связи.

По окончании Олимпиады-80 все телевизионное оборудование будет введено в сеть общесоюзного и международного телевизионного вещания, что позволит с 1981 г. значительно увеличить объем вещания для Москвы и других городов.

Глава 1

Общие принципы телевидения

1.1. Свет и его восприятие

Природа света. Видеть окружающие нас предметы можно только при наличии света, т. е. электромагнитного излучения с длинами волн от 380 до 780 нм[1], к которым чувствителен орган зрения человека — глаз.

Для передачи изображений этих предметов по телевидению их также необходимо облучить, но облучение это может быть как более коротковолновыми лучами (ультрафиолетовыми, рентгеновскими и др.), так и более длинноволновыми (инфракрасными, или радиоволнами и т. п.).

Источниками света, в первую очередь, служат накаленные тела (солнце, нить электролампы и т. п.). Такие источники света называют тепловыми. Кроме тепловых существуют источники, в которых излучение света происходит благодаря ионизации молекул газа при электрическом разряде и ударов быстролетящих электронов по ним, облучению рентгеновскими или гамма-лучами и по некоторым другим причинам.

Будучи освещенными тела отражают бóльшую или мéньшую часть подающего на них света. Например, чистый мел отражает около 95% падающего света, а черный бархат только примерно 0,5%. Общее количество световой энергии, излученной или отраженной предметом, характеризует его яркость.

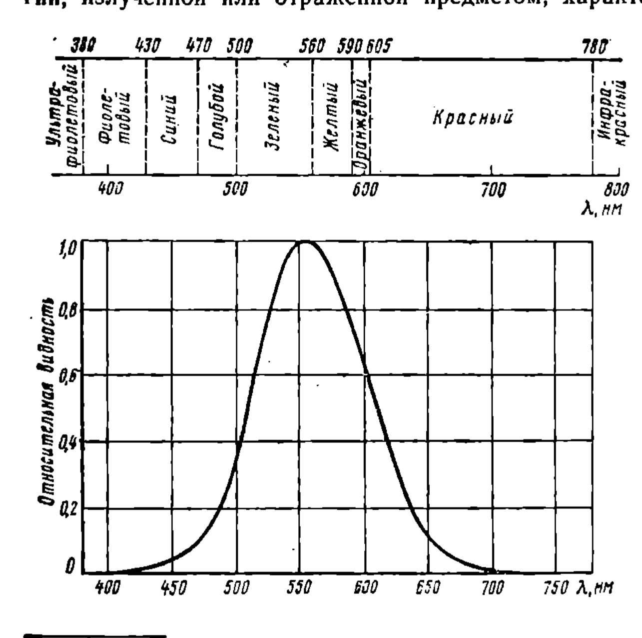


Рис. 1.1. Ощущение цветов от электромагнитного излучения различной длины волны и стандартная кривая относительной видности глаза (относительная спектральная чувствительность глаза)

[1] нм — нанометр; 1 нм = 10^{-9} м.

Коэффициент отражения, т. е. отношение отраженного предметом света к падающему на него, для большинства окружающих предметов зависит от длины световой волны. Поэтому состав отраженного света качественно отличается от состава падающего, вследствие чего различные предметы, по-разному отражая падающий свет, различаются по своему цвету.

Излученный или отраженный каждой точкой наблюдаемого объекта свет является носителем зрительной информации об этом объекте.

Электромагнитные колебания разной длины видимого диапазона волн вызывают ощущение света различного цвета. Примерное соотношение между некоторыми длинами волн и создаваемыми ими ощущениями цвета приведено в верхней части рис. 1.1. Кроме того, одинаковое по мощности световое излучение в зависимости от длины световой волны вызывает в глазу наблюдателя раздражение различной интенсивности и создает впечатление различной яркости. Другими словами, глаз обладает различной чувствительностью к различным участкам видимого спектра. Кривая относительной спектральной чувствительности глаза (кривая видности) приведена на нижней части рис. 1.1.

Светотехнические величины и единицы их измерения. Различная чувствительность глаза к электромагнитным волнам различной длины не позволяет определять световое излучение его мощностью, как, например, измеряется излучение радиостанций. Фраза «Свет мощностью в 1 Вт» еще ни о чем не говорит. Надо еще знать спектральный состав этого света. Поэтому для характеристики световых явлений введены специальные светотехнические понятия и единицы, основные из которых приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Световая величина и ее обозначение	Определение	Формула	Единица измерения и ее обозначение
Световой поток F	Мощность электромагнитного излучения, оцениваемая по воздействию на нормальный человеческий глаз. 1 Вт лучистой энергии с $\lambda=556$ нм дает световой поток $F=683$ лм	—	люмен (лм)
Сила света I	Отношение светового потока в данном направлении к телесному углу, в котором он заключен	$I=F/\omega$	кандела *
Яркость B	Отношение силы света светящейся поверхности в рассматриваемом направлении к площади проекции поверхности на плоскость, перпендикулярную этому направлению	$B_\alpha=I_\alpha/S\cos\alpha$	кд/м²
Освещенность E	Отношение светового потока к площади поверхности, на которую он падает	$E=F_{\text{пад}}/S$	люкс (лк)

* Кандела — основная единица, остальные единицы измерения производные от нее.

1.2. Глаз и свойства зрения[1]

Устройство глаза. Глаз представляет собой тело примерно шарообразной формы, окруженное несколькими слоями оболочек (рис. 1.2).

[1] Свойства цветового зрения рассмотрены в § 1.9.

Внешняя оболочка — *склера*, довольно твердая, в передней части прозрачная. Эта часть склеры называется *роговицей*. За роговицей помещается так называемая передняя камера, заполненная водянистой влагой. Она отделяется от следующего за ней стекловидного тела *радужной оболочкой*, определяющей цвет глаз. В середине радужной оболочки имеется небольшое отверстие — *зрачок*.

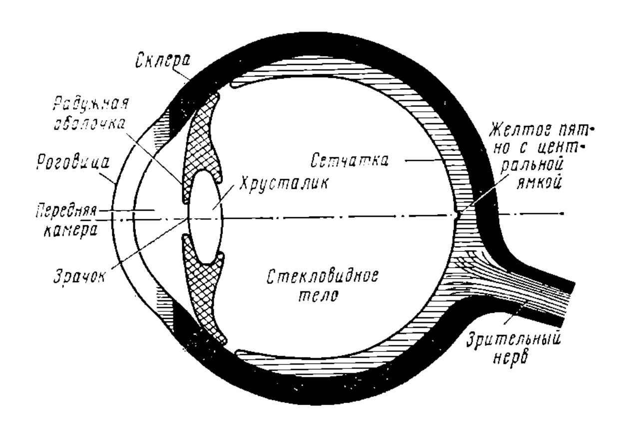


Рис. 1.2. Устройство человеческого глаза

Диаметр зрачка может изменяться в зависимости от величины попадающего в глаз светового потока в пределах примерно от 2 до 8 мм. Это позволяет глазу приспосабливаться (адаптироваться) к различным условиям освещения.

За зрачком помещается прозрачное эластичное тело — *хрусталик*, имеющий форму двояковыпуклой линзы. Глазные мышцы, переводя глаз с одного предмета на другой, могут менять выпуклость этого хрусталика и этим точно фокусировать на внутренней оболочке глаза — *сетчатке* — изображения предметов, находящихся от глаза на расстояниях от 10—12 см до бесконечности. Эта способность глаза называется *аккомодацией*.

Сетчатка несколько напоминает по своему строению пчелиные соты, в каждой ячейке которых расположены светочувствительные элементы одного из двух типов: *палочки* (их около 130 миллионов) и *колбочки* (около 7 миллионов).

Колбочки расположены главным образом в центральной части сетчатки против зрачка. Особенно плотно они размещаются в области так называемого *желтого пятна* (угловой размер которого составляет около 5°) с *центральной ямкой* (1°), причем размеры их по горизонтали процентов на 10 больше, чем по вертикали. Каждая колбочка обычно присоединена к отдельному нервному волокну, передающему воспринимаемые ощущения в головной мозг. Поэтому с помощью колбочек, расположенных в центральной ямке, различаются мелкие детали рассматриваемого объекта.

Колбочки требуют для своего возбуждения сравнительно большой освещенности (*дневное зрение* — несколько люкс). Но зато они при этом, кроме ощущения света, различают цвет.

Палочки расположены в основном на периферии сетчатки. Максимум плотности палочек располагается в зоне 10—12° от ее центра. Палочки присоединяются к нервным волокнам, как правило, группам, в некоторых случаях до ста палочек на одно волокно. Это обеспечивает их большую светочувствительность, но не дает возможности различать мелкие детали. Палочки начинают ощущать свет с 10^{-8} лк, но при освещенности более 20 лк они ослепляются и перестают реагировать на свет.

Зрительный нерв, передающий от колбочек и палочек сетчатки сигналы о яркости и цветности падающего на них света, содержит около миллиона отдельных нервных волокон. Вследствие этого зрительные центры коры головного мозга одновременно получают информацию о яркости и цветовых характеристиках примерно миллиона отдельных участков наблюдаемой сцены.

Разрешающая способность зрения. При рассматривании двух равноудаленных от глаза светящихся точек они воспринимаются раздельно лишь при условии, что их изображения на сетчатке попадают на две колбочки, разделенные хотя бы одной колбочкой, не получающей светового раздражения (рис. 1.3*а*). Если изображения двух светящихся точек попадают на одну или две соседние колбочки (рис. 1.3*б*), то глаз воспримет их как одну точку.

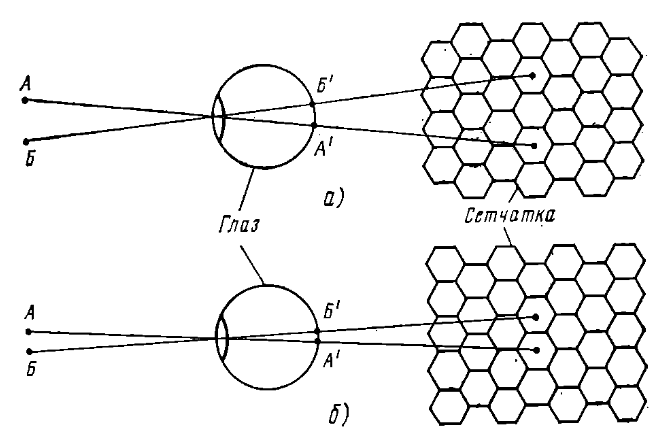


Рис. 1.3. Восприятие глазом двух точек, находящихся под различными углами зрения

Наименьший угол, под которым глаз еще может различить две черные точки на белом фоне в отдельности, называется *разрешаемым углом* и обычно выражается в угловых минутах. Величина, обратная разрешаемому углу, носит название *разрешающей способности глаза* или *остроты зрения.* Разрешающая способность глаза сильно зависит от условий наблюдения: яркости или освещенности объектов, их яркостной или цветовой контрастности с фоном и некоторых других факторов, например *адаптации* (приспособляемости) глаза. При оптимальных условиях наблюдения острота зрения достигает весьма высоких значений. Однако обычно для всевозможных ориентировочных расчетов остроту зрения глаза принимают равной 1 (разрешаемый угол принимают равным одной минуте).

Контрастная чувствительность зрения. Под контрастной чувствительностью глаза δ понимается минимальная величина относительного приращения яркости, ощущаемая глазом, $\delta = (\Delta B/B)$.

Немецкие ученые Э. Вебер и Г. Фехнер установили, что δ — величина постоянная и приблизительно равная 0,01. Позднейшие исследования показали, что контрастная чувствительность глаза не постоянна, а зависит от яркости, адаптации глаза, угловых размеров наблюдаемых объектов и других условий наблюдения (рядом сравниваемые поля или нет, резкая между ними граница или нет и т. п.).

В диапазоне средних яркостей, встречающихся в телевизионных изображениях (10—100 кд/м²), величина δ может все же считаться постоянной и приблизительно равной 0,02—0,03 (рис. 1.4).

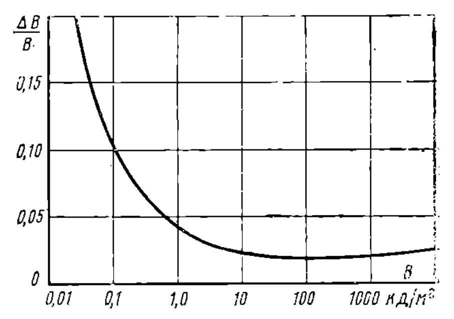


Рис. 1.4. Зависимость минимально ощущаемого относительного приращения яркости (порогового контраста) от яркости

В диапазоне яркостей от $B_{макс}$ до $B_{мин}$ можно различить m различных ступеней или градаций яркости. Можно показать, что число их зависит от конт-

растности изображения $K = B_{макс}/B_{мин} = (1+\delta)^{m-1}$, откуда $m = (\ln K)/\ln(1+\delta)+1 \approx (2{,}3 \lg K)/\delta+1$. Если $\delta=0{,}03$, а $K=40$, то $m=126$.

Число различимых в телевизионном изображении градаций яркости оказывает большое влияние на его разборчивость, на различимость в нем деталей. Особенно важно иметь большое число различимых градаций яркости (полутонов) в черно-белом телевидении, где не происходит компенсации потери полутонов яркости различием цветов отдельных деталей.

В окружающей природе контрастность достигает весьма больших значений. Однако глаз не способен воспринимать одновременно весь этот диапазон благодаря адаптации (быстрой — из-за изменения диаметра зрачка и медленной — из-за выработки на сетчатке зрительного пурпура, служащего нейтральным фильтром). Но все же глаз способен различить несколько сотен градаций яркости.

Телевизионная аппаратура еще более снижает контрастность принимаемых изображений. При высоком отношении сигнал/шум она позволяет воспроизвести 30—40 градаций яркости крупных деталей (2—5% от линейных размеров экрана) и всего лишь 5—8 градаций мелких деталей (приближающихся к угловому размеру в одну минуту).

Как показывает практика, такое число различимых деталей дает изображение достаточно высокого качества.

Инерционность зрения. Фотохимические процессы в колбочках и палочках глаза не могут происходить мгновенно. Они требуют некоторого времени. Поэтому зрительные ощущения обладают известной инерционностью. Нарастание и спадание ощущений яркости с достаточной для практики точностью могут быть представлены экспоненциальными кривыми (рис. 1.5). Нарастание кажущейся (ощущаемой глазом) яркости может считаться происходящим по закону

$$B_к(t) = B_{макс}(1-e^{-t/\tau_1}),$$

где τ_1 — время, за которое *кажущаяся* яркость нарастает до $B_к = B_{макс}(1-1/e) = 0{,}632\,B_{макс}$.

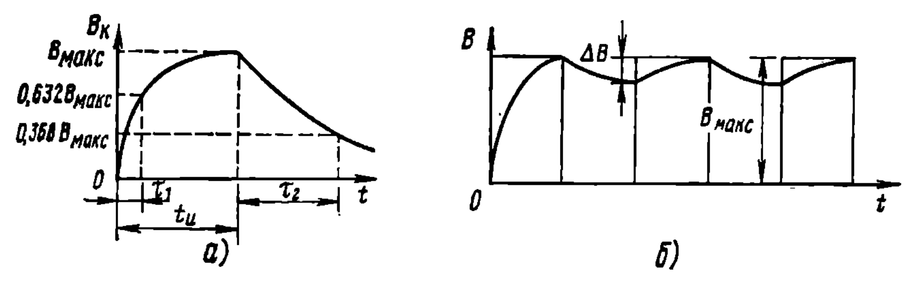


Рис. 1.5. Возникновение и исчезновение светового ощущения при воздействии на глаз прямоугольных импульсов света:
а — воздействие единичного импульса длительностью $t_и$, *б* — слияние ощущений от отдельных импульсов света

Спадание ощущения яркости может считаться происходящим по закону

$$B_к = B_{макс}\, e^{(t_и - t)/\tau_2},$$

где τ_2 — время спадания движущейся яркости до значения

$$B_к = B_{макс}/e = 0{,}368\,B_{макс}.$$

Исследования показали, что $\tau_1 \ll \tau_2$, т. е. нарастание ощущения яркости от воздействия светового импульса происходит значительно быстрее, чем спад этого ощущения по окончании импульса. Для среднего человеческого глаза постоянная времени спада τ_2 составляет примерно 0,1—0,15 с.

С увеличением частоты повторения световых импульсов амплитуда изменения кажущейся яркости $B_к$ уменьшается и в конце концов становится незаметной. Это происходит, когда относительные изменения яркости $\Delta B/B_{макс}$ делаются

меньше контрастной чувствительности глаза $\delta = 0{,}03$. Частота, при которой прекращаются мерцания, называется *критической частотой* мерцания. Эта частота зависит от яркости поверхности (растет с увеличением яркости), ее цвета (наиболее заметны мерцания желто-зеленого света, где глаз обладает наибольшей чувствительностью), от соотношения длительности вспышек и погасаний мелькающей поверхности (от скважности высвечивающих импульсов света) и послесвечения экрана (наличия свечения экрана по окончании высвечивающего импульса). Из рис. 1.6 видно, что критическая частота мерцания для источника света, дающего вспышки по длительности, равные паузам (меандр, послесвечения нет, кривая *1*), больше, чем для экрана кинескопа, где скважность малая, но есть послесвечение (кривая *2*) [1.7, с. 35].

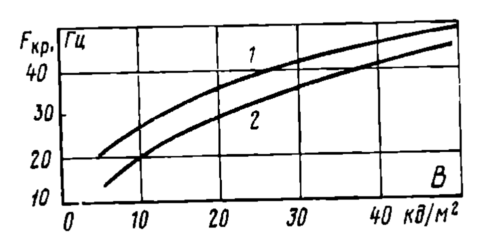


Рис. 1.6. Зависимость критической частоты мерцания от яркости мерцающей поверхности (*1* — для лампы с диском, *2* — для экрана кинескопа)

На инерционности зрения основан кинематограф. Лента кинофильма содержит большое число кадров. Каждый *кадр* — это моментальный снимок, на котором запечатлена одна из фаз движения объекта съемки. При воспроизведении на экране достаточно большого числа кадров в секунду кинозритель уже не замечает смены отдельных кадров и у него возникает ощущение непрерывного движения. Создатели телевизионных систем также использовали покадровый принцип передачи для создания иллюзии движения объектов.

1.3. Первые проекты телевизионных систем

Принципы телевизионной передачи. При рассмотрении механизма зрения было установлено, что головной мозг одновременно получает информацию о яркости и цветовых характеристиках примерно около миллиона отдельных участков наблюдаемой сцены (по числу отдельных нервных волокон в зрительном нерве). Под воздействием полученных сигналов в сознании возникает соответствующий зрительный образ.

Поэтому, чтобы передать изображение какой-либо сцены, казалось бы, ее необходимо разбить на миллион отдельных участков (*элементов разложения*) и передать сведения о средней яркости и цветности каждого такого участка на приемный конец. Только тогда можно на приемном конце получить изображение, например, белой вазы, красных цветов и зеленых листьев.

Некоторое представление о передаваемом объекте можно получить, передавая сведения только о количестве световой энергии, отражаемой каждым участком объекта (т. е. о яркости отдельных элементов передаваемого изображения). Изображение в этом случае будет восприниматься в виде черно-белого, как в обычной фотографии или кино.

Можно несколько пожертвовать четкостью изображения и разбивать его не на миллион, а на меньшее число элементов разложения. Это позволит упростить устройства для приема и передачи изображений.

С выяснением механизма зрения, открытием фоточувствительности селена (изменением его сопротивления под действием света) и изобретением электрической лампы (преобразующей электрическую энергию в свет) стали предлагаться многочисленные проекты устройств для передачи изображений по электрическим каналам связи. Эти проекты вносились представителями различных стран почти одновременно и независимо один от другого. В первых проектах изобретатели использовали принципы устройства и работы зрительного аппарата человека.

Проект Дж. Кери. По-видимому, одним из первых проектов телевизионных устройств следует считать предложение американца Дж. Кери, внесенное им в 1875 г. В проекте (рис. 1.7). Дж. Кери предлагал передаваемое изображение проецировать оптическим объективом на панель селеновых фоторезисторов, каждый из которых через свой канал связи и электрическую батарею соединялся с

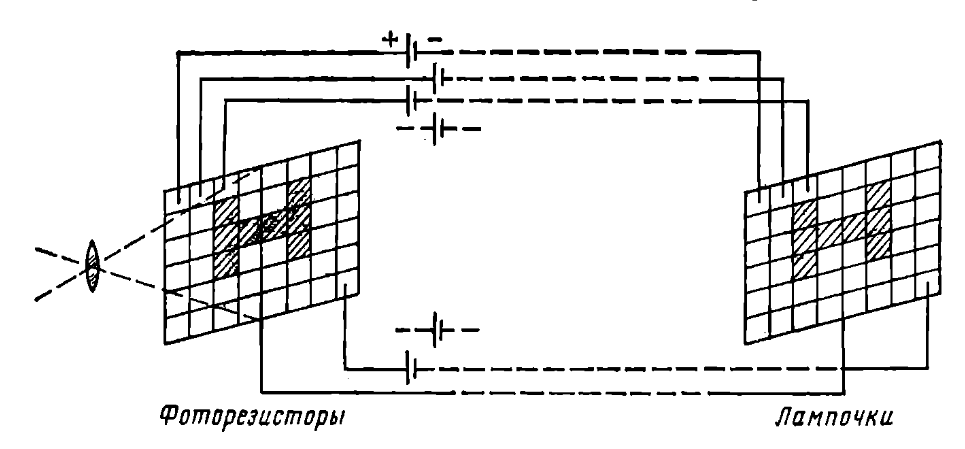


Рис. 1.7. Проект устройства для передачи изображений, предложенный Дж. Кери

приемной электролампой. Предполагалось, что сопротивление ярко освещенных фоторезисторов уменьшится и соответствующие им лампы загорятся ярко. Лампы, связанные со слабоосвещенными фоторезисторами, будут гореть слабо или совсем не будут гореть. Таким образом, Дж. Кери и некоторые другие изобретатели после него, создавая устройство для электрической передачи изображений, пытались «скопировать» глаз, т. е. создать его электрическую модель.

Однако практически невозможно было реализовать миллионы каналов связи, батарей, приемных электроламп и других деталей устройства. Даже если согласиться с получением очень грубого и нечеткого изображения и число элементов разложения в изображении с миллиона снизить, например, до тысячи, то все равно необходимость тысячи отдельных каналов связи, батарей и других важнейших деталей устройства делали проект Кери практически неосуществимым.

Проект Де-Пайва состоял в использовании одного из свойств зрения, а именно его инерционности. Как говорилось выше, при прекращении воздействия света на глаз зрительное ощущение пропадает не мгновенно, а сравнительно медленно примерно в течение десятой доли секунды. Широко известна детская забава, подтверждающая инерционность зрения. Если в темноте быстро вращать тлеющий уголек, то увидим не отдельную светящуюся точку, а целый круг. Изменив траекторию движения уголька, можно воспроизвести светящуюся восьмерку или какой-либо другой контур.

В 1878 году португалец Де-Пайва предложил использовать эту особенность при создании устройства для передачи изображений по одному каналу связи. Он предложил передавать информацию о яркости отдельных элементов разложения изображений не одновременно по различным каналам связи, а последовательно один за другим по одному каналу. Скорость передачи всех элементов изображения должна быть такой, чтобы в момент передачи последнего элемента глаз еще «помнил» яркость первого элемента, т. е. все элементы разложения изображения нужно было передавать за время не более 0,1 с. Для этого в устройстве Де-Пайва передаваемое изображение проецировалось на металлическую пластинку (рис. 1.8), покрытую слоем селена. Металлическое острие (скользящий контакт), соединенное с батареей и каналом связи, должно было «ощупывать» в определенном порядке всю поверхность пластинки. Сопротивление слоя селена между ощупывающим острием и металлической пластинкой по

мере перемещения острия изменялось в соответствии с освещенностью различных участков передаваемого изображения; когда острие находилось на светлых участках изображения, в цепи протекал большой ток, когда на темных — малый.

На приемном конце под действием тока от светлых участков изображения электромагнитное реле замыкало цепь маленькой лампочки, которая перемеща-

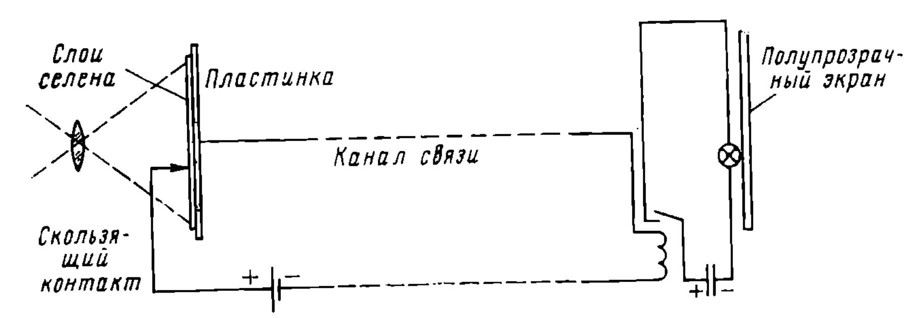


Рис. 1.8. Проект устройства для передачи изображений, предложенный Де-Пайва

лась позади полупрозрачного экрана точно в таком же порядке, в каком перемещалось острие передающего устройства по селеновой пластинке. Вспышки света на экране, даваемые быстро двигающейся лампочкой, должны были сливаться и образовывать цельное передаваемое изображение.

Предложенное Де-Пайва устройство также оказалось практически неосуществимым. Оно было еще весьма примитивным, и к тому же общий уровень электроники в то время еще не достиг необходимого развития. Однако идея его предложения — последовательная передача по одному каналу связи сигналов, отображающих яркости отдельных элементов изображения, широко используется в современном телевидении.

Последовательная передача изображений по элементам получила название *развертки изображения*, а порядок передачи отдельных элементов — *способа развертки*.

Проект П. И. Бахметьева. Де-Пайва не указал порядка движения острия, ощупывающего селеновую пластинку, а электромагнитное реле, входящее в его приемное устройство, не давало возможности осуществить передачу полутонов (лампочка могла либо гореть, либо быть погашенной).

Первое, детально разработанное, устройство для передачи и приема изображений было предложено в 1880 г. известным русским ученым П. И. Бахметьевым. Он предложил передаваемое изображение разлагать на элементы с помощью небольшого селенового фоторезистора, двигающегося по спирали в плоскости сфокусированного оптического изображения. Прием изображений предлагалось осуществлять путем аналогичного движения светящейся точки, создаваемой оригинально устроенной газовой горелкой с электромагнитным модулятором света, что позволяло принимать полутоновые изображения.

Из-за низкого уровня техники того времени проект П. И. Бахметьева также не был осуществлен. Но предложенное им разложение по спирали впоследствии широко использовалось и сыграло значительную роль на этапе так называемого *механического телевидения*.

Проект Сенлека. Примерно год спустя после предложения П. И. Бахметьева француз Сенлек предложил еще один оригинальный проект устройства для передачи изображений. В его устройстве на передающей стороне предлагалось использовать панель со множеством селеновых фоторезисторов, которые последовательно должны были подключаться к одной линии связи с помощью особого коммутатора (рис. 1.9). На приемном конце такой же коммутатор должен был подключать к линии связи последовательно одну за другой приемные лампы. Для получения принимаемого изображения коммутаторы передающего и приемного конца должны были вращаться с совершенно одинаковыми скоростями (синхронно) и в соответствующим образом согласованных положениях (син-

фазно). Когда на приемный конец приходил сигнал, например, от четвертого фоторезистора первого ряда, то подвижный контакт приемного коммутатора должен был находиться на четвертом контакте и подключать линию связи к четвертой лампе первого ряда.

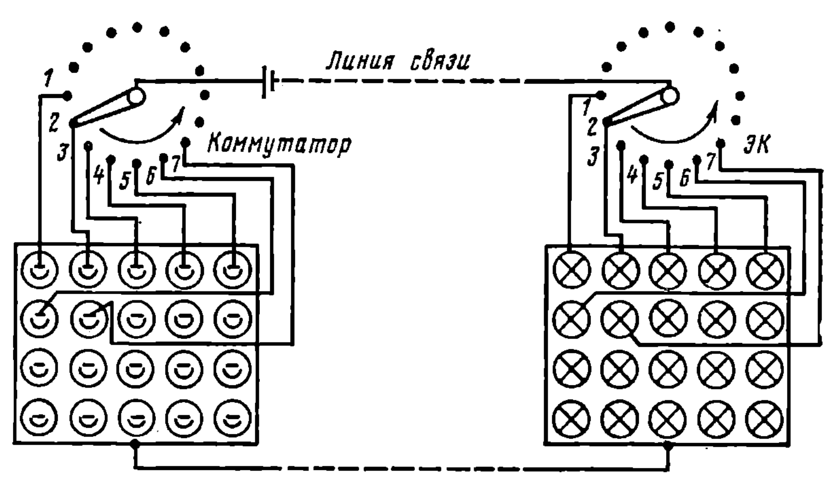


Рис. 1.9. Проект устройства для передачи изображений, предложенный Сенлеком

Кроме рассмотренных, было предложено немало других проектов устройств для передачи изображений. Из них можно назвать предложения итальянца Перозино (1879 г.), англичанина Ш. Бидуэлла (1881 г.), американца В. Сойерса (1887 г.) и многих других. Все эти предложения оказались неосуществимыми. Авторы их не учитывали инерционности механических развертывающих устройств, селеновых фоторезисторов и источников света, делавшей невозможной передачу быстрых изменений яркости элементов разложения. Видеосигналы, получаемые с помощью фоторезисторов, были недостаточно сильны, чтобы эффективно воздействовать на электролампы приемного устройства, особенно при передаче изображений на значительные расстояния. Усилители слабых сигналов в те годы еще отсутствовали.

Диск П. Нипкова. Очень простое и удобное устройство для разложения изображения на элементы и преобразования их яркости в электрические сигналы предложил в 1884 г. польский инженер П. Нипков. Основу предложенного им устройства составлял диск с отверстиями, каждое из которых было смещено к центру диска относительно предыдущего отверстия на его высоту (рис. 1.10а). Поскольку в то время отсутствовали необходимые фотоэлементы, усилители и некоторые другие детали предложенной Нипковым системы, она в свое время не была осуществлена. Однако позднее, когда необходимые технические средства были созданы, система с диском Нипкова оказалась первой системой, получившей практическое применение. В период 1929—1937 гг. в ряде стран, в том числе и в СССР, с помощью этой системы осуществлялось телевизионное вещание.

При вращении диска каждое отверстие прочерчивало в окне ограничивающей рамки (рис. 1.10*а*) одну дугообразную линию — строку, а за один полный оборот диска эти строки последовательно заполняли всю площадь окна рамки, осуществляя развертку передаваемого изображения. Фотоэлемент, «просматривая» через пробегающие отверстия передаваемое изображение (рис. 1.10*б*), давал ток, амплитуда которого в каждый момент соответствовала яркости видимого через отверстие в диске участка изображения — элемента разложения. Ток, даваемый фотоэлементом, усиливался усилителем и направлялся в канал связи.

Приемное устройство состояло из диска Нипкова и лампы, к которой подводились пришедшие из канала связи сигналы. Так как обычная лампа накаливания не могла изменять свою яркость с достаточной быстротой, чтобы успеть

следовать за изменениями амплитуды приходящего тока (нить ее не успевала нагреваться и остывать), ее пришлось заменить менее инерционной газосветной (обычно неоновой) лампой. При вращении перед такой горящей лампой приемного диска Нипкова, в точности подобного диску на передатчике, каждое отверстие диска, проходя поле ограничивающей рамки, представлялось наблюдателю в виде светящейся дугообразной линии — строки, а строки от всех отверстий воспринимались как сплошной светящийся экран.

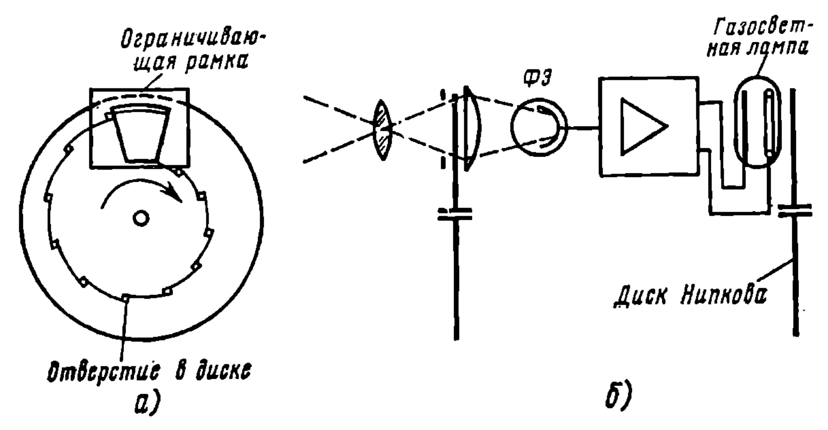


Рис. 1.10. Диск Нипкова:
а — устройство диска; *б* — схема для передачи изображений с этим диском (ФЭ — фотоэлемент)

Если к лампе подводились принимаемые телевизионные сигналы, то яркость ее непрерывно менялась в соответствии с этими сигналами и различные точки экрана светились с различной яркостью. При синхронном и синфазном вращении приемного и передающего дисков на приемном экране возникало передаваемое изображение.

Основными недостатками систем с диском Нипкова были низкая светочувствительность и малая четкость передаваемых изображений. Низкая светочувствительность была обусловлена тем, что из общего светового потока, который улавливался объективом и создавал на поверхности диска в пределах окна ограничивающей рамки передаваемое оптическое изображение, в электрический сигнал преобразовывалась лишь малая доля, приходящаяся на одно отверстие диска, находящееся в данное мгновение в окне ограничивающей рамки. Такие системы получили наименование *систем мгновенного действия*, а так как передача и прием изображений в этих системах осуществлялись с помощью механических вращающихся устройств, их также часто называли *механическими системами*.

Хотя на отверстие в диске приходился некоторый участок изображения, фотоэлемент давал сигнал, соответствующий средней освещенности этого участка, и поэтому воспроизвести детали изображения по величине меньше, чем отверстие в диске (меньше чем элемент разложения), телевизионная система не в состоянии. Таким образом, четкость телевизионных изображений определяется величиной элемента разложения (величиной отверстий в диске Нипкова). Чем больше элементов меньших размеров было в изображении (отверстий в диске), тем более мелкие детали могла воспроизвести телевизионная система. Но при этом соответственно уменьшалась доля преобразуемого в электрический сигнал светового потока. Сигнал изображения оказывался настолько слабым, что его нельзя было усилить. Он делался слабее собственных шумов фотоэлемента и усилителя.

Потерю мелких деталей в изображении, обусловленную размерами отверстий в диске Нипкова или вообще размерами элемента разложения, стали называть апертурными искажениями[1].

---

[1] Aperture (лат.) — отверстие.

Проект Ч. Ф. Дженкинса. В 1928 г. американский изобретатель Ч. Ф. Дженкинс запатентовал первую конструкцию телевизионного передатчика с так называемым накоплением заряда (рис. 1.11). На панель фотоэлементов проецируется оптическое изображение передаваемых объектов. Световой поток, падающий на

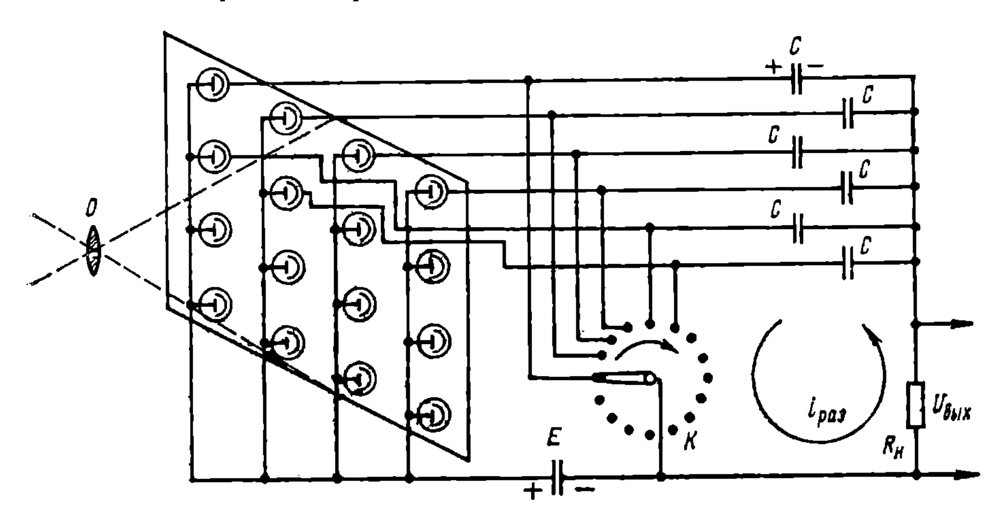


Рис. 1.11. Схема передатчика Ч. Ф. Дженкинса с накоплением зарядов

данный фотоэлемент, создает фототок $i_ф$, протекающий по цепи: плюс источника питания E, анод — катод фотоэлемента, связанный с данным фотоэлементом накопительный конденсатор C, нагрузочный резистор $R_н$, минус источника питания.

В результате протекания фототоков на конденсаторах C будут накапливаться заряды $q=i_ф t_н$, где $t_н$ — время накопления зарядов на конденсаторах.

Ползунок коммутатора K, совершающий один оборот за время $T_к$, обегает все контакты коммутатора и замыкает каждый из конденсаторов через нагрузочный резистор $R_н \ll R_i$ на время коммутации $t_{ком}=T_к/N$, где R_i — внутреннее сопротивление фотоэлемента, а N — число фотоэлементов, конденсаторов и контактов коммутаторов. Так как число фотоэлементов N для обеспечения высокой четкости изображений должно быть весьма велико, то время накопления зарядов на каждом из конденсаторов $t_н=T_к-t_{ком}\approx T_к$.

При замыкании конденсаторов ползунком коммутатора по резистору $R_н$ будет протекать ток разряда конденсатора

$$i_{раз}=q/t_{ком}=i_ф t_н/t_{ком}\approx i_ф T_к/t_{ком} N=i_ф N.$$

Помимо того, что ток разряда оказывается значительно больше тока заряда, увеличение числа фотоэлементов N и, следовательно, уменьшение их размеров и тока заряда $i_ф$ не влечет за собой в системах с накоплением снижения светочувствительности, как это происходит в системах мгновенного действия, поскольку ток разряда (сигнала) $i_{раз}$ при этом остается теоретически неизменным.

Действительная картина процесса накопления из-за ряда причин оказывается несколько сложнее и выигрыш получается не столь значительным, как это следует из теоретических соображений.

Передатчик Дженкинса так же, как и другие системы с механическими коммутаторами, не был осуществлен из-за сложности получения нужного числа отдельных изолированных друг от друга фотоэлементов и невозможности осуществления механических коммутаторов с необходимой скоростью коммутации. Но принцип накопления зарядов — основа его предложения — впоследствии был широко использован и используется в настоящее время в системах электронного телевидения.

1.4. Электронное телевидение

Пионеры электронного телевидения. Общепризнанным пионером электронного телевидения является наш соотечественник, преподаватель Петербургского технологического института Борис Львович Розинг. Еще в 1897 г. он начал заниматься вопросами «видения на расстоянии». В 1907 г. он подал заявку на изобретенный им «способ электрической передачи изображений на расстояние, отличающийся тем, что на станции получения изображение воспроизводится последовательно точка за точкой на флюоресцирующем экране трубки Брауна...». На свое изобретение Б. Л. Розинг получил патенты в России, Англии и Германии. Существо изобретения Б. Л. Розинга заключалось в использовании электронного луча в качестве идеального «безынерционного пера» для воспроизведения изображений в приемном устройстве.

В 1911 г. Б. Л. Розинг изготовил необходимую аппаратуру и продемонстрировал группе физиков прием изображений на экране электронно-лучевой трубки. В том же году английский инженер Кэмпбелл Суинтон предложил конструкцию первой передающей электронно-лучевой трубки. Предложенная им трубка должна была работать по принципу мгновенного действия без накопления зарядов и поэтому также обладала низкой светочувствительностью, как и механические системы.

Вслед за этим целый ряд изобретателей предлагали свои варианты передающих электронно-лучевых трубок мгновенного действия: Б. А. Грабовский, В. И. Попов, Н. Г. Пискунов, А. А. Чернышев, Ю. С. Волков и другие. До практического применения довели свои предложения американец Ф. Фарнсуорт, разработавший трубку под названием *диссектор* (см. гл. 2), и советский ученый проф. Г. В. Брауде, создавший безлучевую однострочную трубку *статитрон*. Из-за недостаточной светочувствительности эти трубки нашли применение только для передачи кинофильмов и некоторых других специальных целей.

Первая трубка, в которой практически удалось реализовать эффект накопления зарядов, названная впоследствии *иконоскопом*, была изобретена в 1931 г. советским ученым С. И. Катаевым. Через несколько месяцев аналогичную конструкцию трубки предложил в США В. К. Зворыкин, бывший ранее лаборантом Б. Л. Розинга в Петербургском технологическом институте.

Система электронного телевидения. В подавляющем большинстве случаев современные телевизионные устройства относятся к классу электронных, т. е. преобразование оптического изображения в электрический сигнал в передатчике и электрического сигнала в оптическое изображение в приемнике осуществляется с помощью передающих и приемных электронно-лучевых трубок (рис. 1.12). Эти трубки представляют собой стеклянный баллон *Б*, из которого тщательно удален воздух. Внутри баллона помещается накаливаемый током катод *К*, излучающий электроны, и несколько электродов, собирающих излучаемые электроны в уз-

кий пучок (электронный луч). Снаружи на трубку надеваются отклоняющие катушки *ОК*, питаемые током пилообразной формы и заставляющие электронный луч двигаться слева направо (по строкам) и сверху вниз (по кадрам)[1]. В некоторых типах трубок применяется фокусировка электронного луча с помощью фокусирующей катушки *ФК*, надеваемой на трубку.

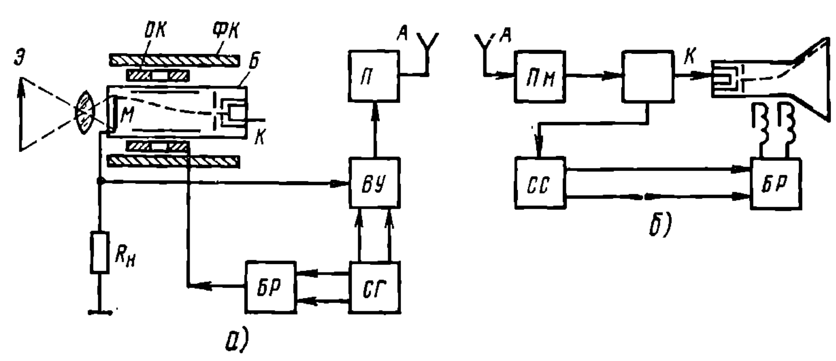


Рис. 1.12. Упрощенная структурная схема системы электронного телевидения: *а* — передающая часть; *б* — приемная часть

В приемных трубках движение электронного луча происходит по экрану, покрытому специальным веществом — люминофором, элементы которого способны светиться с большей или меньшей яркостью в зависимости от интенсивности электронного луча.

В передающих трубках движение луча происходит по так называемой мишени *М*, способной благодаря явлению фотоэмиссии (в некоторых типах трубок благодаря вторичной электронной эмиссии или внутреннего фотоэффекта) образовывать подобное спроектированному на нее оптическому изображению «электрическое» изображение, представляющее собой распределение электрических зарядов или потенциальный рельеф. Распределение по поверхности мишени яркости отдельных точек оптического изображения $B(x, y)$, где x, y — координаты точек мишени, преобразуются в распределение электрических зарядов $q(x, y)$, т. е. $B(x, y) \to q(x, y)$.

Электронный луч, обегая в процессе развертки поверхность мишени с постоянной скоростью, «считывает» потенциальный рельеф, преобразуя его в изменяющийся во времени электрический ток, создающий на сопротивлении нагрузки напряжение, которое представляет собой сигнал изображения.

Так как $x=f_1(t)$, а $y=f_2(t)$, то в процессе развертки $q(x, y)$ преобразуется в $U(t)$. Этот сигнал усиливается усилителем и поступает на радиопередатчик. Сигнал, принятый радиоприемником, поступает на приемную электронно-лучевую трубку — кинескоп,

[1] Поскольку объектив дает перевернутое оптическое изображение, то в передающих трубках движение электронного луча обычно происходит в обратном направлении: справа налево и снизу вверх.

и управляя интенсивностью луча, создает на его экране соответствующее изображение; преобразует $U(t) \to B(x, y)$.

Для обеспечения согласованной (синхронной и синфазной) работы считывающего и воспроизводящего электронных лучей на передающем конце применяется специальное устройство — синхрогенератор *СГ*, вырабатывающий импульсы, управляющие блоком развертки *БР* на передающем конце и вводимые в передаваемый сигнал изображения. На приемном конце эти синхроимпульсы отделяются от сигнала изображения селектором синхроимпульсов *СС* и управляют блоком развертки приемника *БР*.

1.5. Основные понятия и термины телевизионной техники

Элемент разложения. Познакомившись с основными идеями телевидения, упрощенной структурной схемой (рис. 1.12) и принципами ее работы, систематизируем и уточним основные понятия и термины телевизионной техники.

Как уже говорилось, изображение при телевизионной передаче как бы делится на отдельные небольшие площадочки — элементы разложения. В пределах элемента разложения могут быть мелкие детали передаваемого оптического изображения, но телевизионная система усредняет их яркость по площади элемента и дает сигнал, соответствующий этой средней яркости. Передать детали изображения размерами меньше элемента разложения телевизионная система не в состоянии.

Развертка изображения. Процесс последовательного преобразования по заранее установленному закону яркости (и цветности в цветном телевидении) элементов изображения в электрические сигналы называется разверткой изображения (анализом, разложением). В вещательном телевидении закон развертки принят таким же, как при чтении книги: слева направо (по горизонтали, по строкам) и сверху вниз (по вертикали, по кадрам) с равномерной скоростью.

Формат кадра. Форматом кадра называется отношение ширины передаваемого изображения b к его высоте h (рис. 1.13):

$$k_ф = b/h. \qquad (1.1)$$

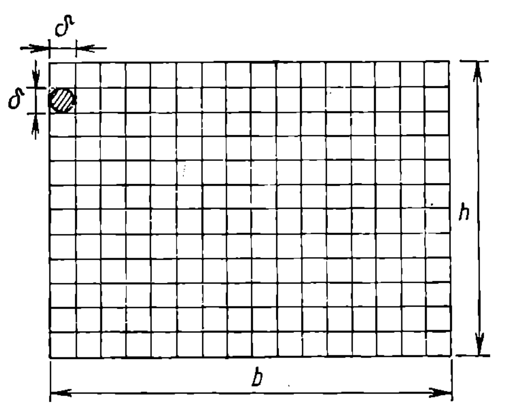


Рис. 1.13. К определению формата кадра, числа строк и элементов в изображении

Число строк в изображении. Если элемент разложения является квадратом со стороной δ, то при условии, что стро-

ки вплотную прилегают друг к другу, число их в изображении будет

$$Z = h/\delta. \qquad (1.2)$$

Число элементов в изображении. Число элементов в строке

$$b/\delta = k_ф h/\delta = k_ф Z. \qquad (1.3)$$

Всего элементов в изображении

$$N = k_ф ZZ = k_ф Z^2. \qquad (1.4)$$

Следует оговориться, что реальные значения величин, определяемых по (1.2)—(1.4), несколько меньше номинальных значений Z и N, так как часть времени кадра и часть строки расходуются на обратные ходы развертки, на время которых свечение экрана гасится так называемыми гасящими импульсами.

Кадр. Однократная развертка всей площади изображения (всех элементов изображения) называется кадром. Каждый кадр несет информацию о мгновенном распределении яркости в изображении. За время передачи одного кадра изображение не должно существенно изменяться, иначе будет происходить «смазывание» движущихся объектов.

Растр. Растром называется заранее установленный рисунок строк развертки, обеспечивающий существенно равномерное покрытие всей площади кадра. Другими словами, растр представляет собой траекторию движения развертывающего элемента по площади кадра.

1.6. Выбор основных параметров телевизионных систем

Конечным потребителем телевизионных изображений является человеческий глаз. Поэтому свойства глаза, его характеристики и особенности решающим образом определяют не только параметры телевизионной аппаратуры, но и, как говорилось выше, практическую возможность самой телевизионной передачи. Рассмотрим кратко важнейшие соображения, которыми приходится руководствоваться при выборе основных параметров телевизионных систем.

Формат кадра. Большинство процессов, явлений и событий нашей жизни происходит в горизонтальной плоскости. В связи с этим в результате многовековой эволюции и естественного отбора угол зрения человека в горизонтальной плоскости превысил 180°, тогда как в вертикальной плоскости он достигает всего лишь 125°. Область четкого видения — желтое пятно сетчатки — имеет угловой размер по горизонтали более чем на 10% больше углового размера по вертикали. В силу указанных причин экраны в кино, театральные сцены и кадр в телевидении делаются вытянутыми в горизонтальном направлении. Формат кадра в вещательном телевидении $k_ф$ принят равным 4 : 3.

Вследствие некоторых технологических причин экраны приемных трубок приходится делать с форматом 5 : 4. В системах прикладного телевидения формат кадра нередко бывает иным (квадратным, вытянутым по вертикали) в зависимости от назначения конкретных систем.

Четкость телевизионных изображений. Важнейшим показателем качества телевизионных изображений является их четкость, определяемая числом различимых элементов разложения в изображении $N_р$.

В связи со специфическими особенностями передачи телевизионных изображений (их строчной структурой) часто различают четкость по вертикали (число различимых черных и белых линий по вертикали) и четкость по горизонтали. Эти два вида четкости могут существенно отличаться друг от друга. Кроме понятия «четкость», иногда употребляются взаимосвязанные понятия: «детальность» (контрастность мелких деталей) и «резкость» (воспроизведение резких перепадов яркости). Принимают также понятие «разрешающая способность», характеризующее способность телевизионной аппаратуры воспроизводить мелкие детали изображения.

При анализе всевозможных вопросов видимости, разборчивости деталей изображений и т. п. и установлении соответствующих закономерностей оказалось более удобным расстояние $Д$ от глаза до наблюдаемого изображения выражать не в абсолютных, а в относительных единицах, в виде отношения $\rho = Д/h$, где h — высота изображения.

Большинство специалистов полагают, что оптимальное расстояние наблюдения телевизионных изображений, при котором сравнительно хорошо различаются мелкие детали и в то же время получается достаточно полное представление об изображении в целом, исключающее утомительные систематические повороты головы, равняется $\rho = 4$. С относительного расстояния $\rho = 4$ при $k_ф = 4 : 3$ угловые размеры изображения составляют примерно $19 \times 14°$.

Каждая геометрическая точка передаваемого оптического изображения имеет свою яркость. Поэтому казалось бы, что телевизионная система должна давать изображение с бесконечно большим числом бесконечно малых элементов разложения. Но, с одной стороны, это невозможно, так как никакие реальные каналы связи не в состоянии пропустить эту бесконечно большую информацию за конечный отрезок времени. А с другой стороны, это и не нужно. Делать разрешающую способность телевизионной системы больше разрешающей способности глаза бессмысленно. Все равно глаз столь мелких деталей не различит. Учитывая, что оптимальный угол наблюдения изображения составляет по вертикали 14° или 840′, а разрешающая способность глаза равна примерно одной минуте, то ориентировочно можно утверждать, что стремиться к четкости телевизионной системы, превышающей 840 черных и белых линий, нецелесообразно.

Анализ процессов передачи изображений по телевидению показывает, что четкость изображений, определяемая общим объемом информации, передаваемой за один кадр, зависит от полосы частот, пропускаемой телевизионной системой. При этом четкость по вертикали пропорциональна числу строк, а четкость по горизонтали обратно пропорциональна числу строк, т. е. число строк Z является корректирующим фактором, позволяющим изменять четкость в одном направлении за счет четкости в другом, и в частности, добиваться равной четкости в обоих направлениях.

Утверждение, что четкость телевизионных изображений определяется числом строк Z, справедливо, но лишь при условии равенства горизонтальной и вертикальной четкостей и при соответствующей полосе частот видеотракта.

Проведенные исследования показали, что субъективная четкость (т. е. четкость, оцениваемая человеком на глаз) с увеличением числа строк при малом их числе растет сравнительно быстро (почти прямо пропорционально числу строк). Затем рост субъективной четкости замедляется. Увеличение числа строк от 600 до 1000 приводит к увеличению субъективной четкости всего лишь на 5%. Тогда как полоса частот при этом возрастает пропорционально квадрату числа строк, т. е. в $(1000:600)^2=2,8$ раза. Это повлечет за собой значительное усложнение и удорожание аппаратуры. Поэтому обычно принимают некоторое компромиссное решение между качественными и технико-экономическими показателями. В СССР и большинстве других стран мира в системах телевизионного вещания принято число строк $Z=625$.

Заметность строчной структуры растра. Кроме четкости, к телевизионному изображению обычно предъявляется требование возможно меньшей заметности строчной структуры растра. Практика показывает, что при наблюдении с оптимального расстояния это требование выполняется легче, чем получение предельной разрешающей способности системы в одну угловую минуту. Уже при $Z=420\div450$ строчная структура растра делается незаметной.

Частота кадров. В телевидении чаще всего необходимо передавать изображения движущихся объектов, сохранив при этом характер движения воспроизводимого изображения. Для этого используют тот же прием, что и в кино, а именно передают серию отдельных неподвижных изображений, отражающих отдельные фазы движения. Опыт кино показывает, что получить впечатление достаточно плавно движущихся изображений можно, передавая примерно 12—16 изображений в секунду. Но при таком числе передаваемых в секунду кадров глаз ощущает неприятное мерцание яркости экрана. Чтобы устранить это мерцание, необходимо частоту кадров взять выше критической частоты мерцания. При яркости, имеющейся на экранах современных телевизоров, критическая частота мерцания составляет 43—48 Гц.

Но и при частоте передачи кадров выше критической конструкторы телевизоров столкнулись еще с одной трудностью. Так как телевизоры в большинстве случаев питаются от сети переменного

тока с частотой 50 Гц, то при недостаточно хорошо сглаженном выпрямленном токе на экране появляются помехи в виде движущихся вверх или вниз темной и светлой полос (при воздействии пульсаций переменного тока на каскады усиления сигнала изображения) или в виде волнообразного искривления вертикальных краев изображения (при воздействии пульсаций на каскады строчной развертки). Если частоту вертикальной развертки в телевизоре взять равной частоте питающей сети или, как обычно говорят, «привязать» частоту вертикальной развертки к частоте сети, то оба эти вида искажений окажутся на экране неподвижными и их мешающее действие будет значительно менее заметным и неприятным. Однако с распространением обмена телевизионными программами между городами или странами, имеющими не связанные друг с другом энергосистемы, «привязка» частоты развертки к частоте электросети оказывается бесполезной. В таких случаях требуются особенно хорошая фильтрация выпрямленного тока и экранировка соответствующих цепей телевизора.

1.7. Телевизионные развертки

Общие сведения. Как отмечалось выше, под телевизионной разверткой понимается процесс последовательного преобразования яркости отдельных элементов разложения изображения в электрические сигналы. В зависимости от порядка передачи элементов изображения различают несколько способов развертки. Простейшим и историческим первым способом была прогрессивная развертка. Затем была предложена обладающая существенными преимуществами чересстрочная развертка, которая полностью вытеснила прогрессивную из телевизионного вещания и в значительной степени из систем прикладного телевидения. Кроме прогрессивной и чересстрочной разверток, изредка находят применение некоторые другие способы развертки: спиральная, синусоидальная и др.

Как прогрессивная, так и чересстрочная развертки осуществляются с равномерной скоростью по правилам чтения книги, т. е. слева направо (по строкам) и сверху вниз (по кадру).

Прогрессивная развертка. Выше уже отмечалось, что в подавляющем большинстве современных телевизионных систем развертка изображений осуществляется электронным лучом, который отклоняется магнитным или электрическим полем по горизонтали (по строкам) и по вертикали (по кадру).

Как известно, на электрон, вошедший в магнитное поле, действует сила (рис. 1.14*а*)

$$F = evH\sin\alpha, \qquad (1.5)$$

где e — заряд электрона; v — скорость движения электрона; H — напряженность магнитного поля; α — угол между векторами v и H.

С наибольшей силой магнитное поле воздействует на электрон, если его траектория перпендикулярна направлению магнитного

поля, как показано на рис. 1.14*б* ($\alpha=90°$). Если электрон неподвижен ($v=0$) или движется вдоль поля ($\alpha=0$), то сила $F=0$ и магнитное поле на такой электрон не воздействует.

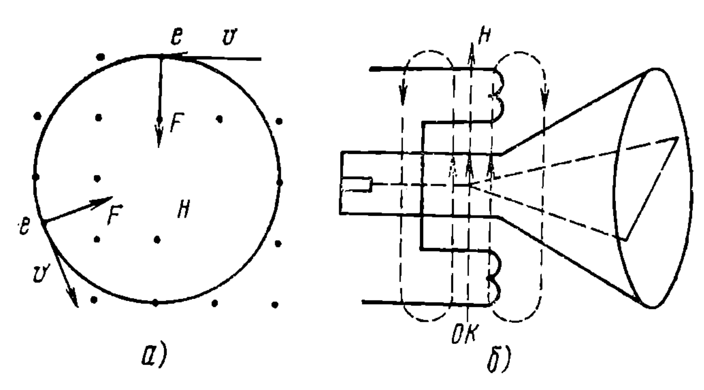


Рис. 1.14. Отклонение электронов магнитным полем H

Сила F направлена по известному в физике правилу левой руки, перпендикулярно плоскости проходящей через векторы $v \sin \alpha$ и H. Сила F всегда перпендикулярна вектору $v \sin \alpha$, и поэтому траектория электронов в магнитном поле представляет собой окружность или дугу окружности, если магнитное поле пространственно ограничено. Радиус r этой окружности или дуги может быть найден по формуле

$$r = mv/eH = \sqrt{(2m/e)U_а}/H. \quad (1.6)$$

В случае, изображенном на рис. 1.14*б*, электронный луч, пройдя по дуге область магнитного поля, отклонится на экране вправо или влево по горизонтали.

Для отклонения электронного луча по вертикали применяется еще одна пара катушек, расположенная вне плоскости чертежа (на рис. 1.14*б*). Две пары отклоняющих катушек образуют так называемую *отклоняющую систему* (*ОС*).

Прогрессивная развертка осуществляется следующим образом. Через пару отклоняющих катушек пропускается пилообразный ток частоты $f_{стр}$, создающий вертикальное магнитное поле $H_{стр}$. Под действием этого поля электронный луч с постоянной скоростью перемещается слева направо (прямой ход строчной развертки) и затем быстро возвращается справа налево в исходное положение (обратный ход строчной развертки).

Через другую пару отклоняющих катушек, сдвинутых относительно первой пары на 90°, пропускается пилообразный ток с частотой $f_{кадр}$, создающий горизонтальное магнитное поле. Под влиянием этого поля электронный луч постепенно опускается сверху вниз (прямой ход кадровой развертки) и затем сравнительно быстро поднимается вверх в исходное положение (обратный ход кадровой развертки).

Так как строчная частота много выше кадровой, то электронный луч создает на экране трубки светящийся прямоугольник — растр, состоящий из параллельных почти горизонтальных светящихся линий — строк (рис. 1.15).

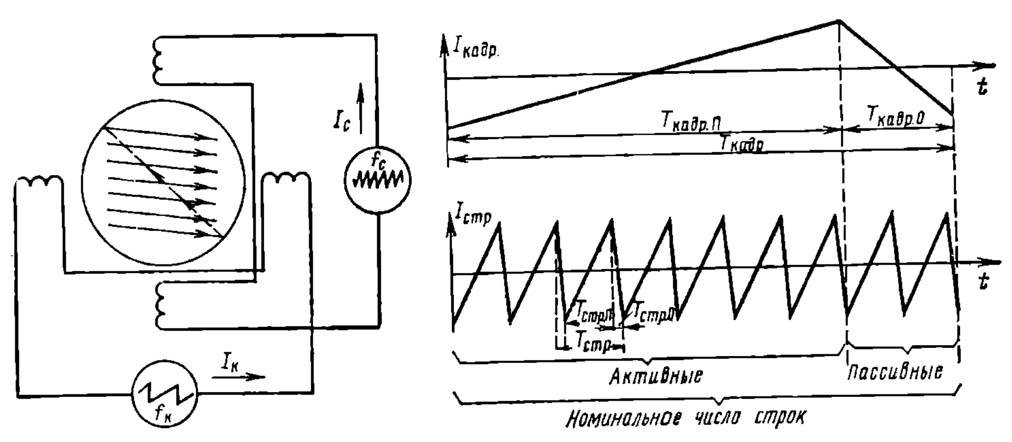


Рис. 1.15. Образование растра на экране электронно-лучевой трубки с электромагнитным отклонением луча

Рис. 1.16. Временные графики токов развертки

Во время прямого хода кадровой развертки, т. е. в течение времени $T_{кадр.п}$ (рис. 1.16), электронный луч, двигаясь вдоль строк, в то же время медленно опускается вниз, вследствие чего строки имеют небольшой практически незаметный наклон слева направо вниз (см. рис. 1.15).

Растр, изображенный на рис. 1.15, несколько идеализирован, так как при его построении допущено, что время обратного хода как по строке $T_{стр.о}$, так и по кадру $T_{кадр.о}$ равно нулю. В действительности время обратного хода по кадру равно нескольким периодам строчной развертки $T_{стр}$, поэтому электронный луч, поднимаясь из правого нижнего угла растра в левый верхний, совершает несколько строчных ходов, каждый из которых состоит из прямого хода слева направо и обратного хода справа налево. Во время обратного кадрового хода электронный луч, двигаясь вдоль строк, все время довольно быстро (по сравнению с прямым ходом) поднимается и наклон строк получается обратным, т. е. слева направо вверх, и сами строки идут более круто, чем во время прямого кадрового хода электронного луча.

Для передачи изображений используются только прямые ходы строчной и кадровой разверток $T_{кадр.п}$ и $T_{стр.п}$. Но вследствие этого число активных строк, приходящихся на прямой ход кадровой развертки (см. рис. 1.16), оказывается меньше так называемого номинального числа строк, приходящихся на полный кадровый период:

$$Z_{ном} = f_{стр}/f_{кадр} = T_{кадр}/T_{стр}. \qquad (1.7)$$

Номинальное число строк в кадре Z равно сумме активных строк и приходящихся на обратный ход кадровой развертки пассивных строк. По ГОСТ на вещательное черно-белое телевидение из 625 номинальных строк 575 активные и 50 строк пассивные (гасятся гасящими импульсами).

Образующийся при развертке электрический сигнал имеет довольно сложный спектральный состав, зависящий от характера передаваемого изображения и от способа развертки. Чтобы на экране телевизионного приемника получить четкое неискаженное изображение, спектр сигнала должен быть без искажений передан до модулятора кинескопа. Поэтому, изучая способы развертки, необходимо рассматривать также характеристики и параметры сигнала, его спектральный состав. Зная спектральный состав телевизионного сигнала, можно также разобраться в сущности способов сокращения полосы частот как в черно-белом, так и в цветном телевидении.

Частотный спектр сигнала изображения. Ширина спектра частот сигнала изображения определяется размерами и скоростью движения развертывающего элемента и характером передаваемого изображения (размерами его деталей). В общем случае сигнал изображения носит импульсный характер, что приводит к большой ширине спектра частот, во многие сотни раз превышающей полосу частот, получающуюся при передаче, например, речи или музыки. Из-за этого обстоятельства телевизионные сигналы приходится передавать только по специальным высокочастотным кабелям или по радио в диапазоне УКВ. Последние, как известно, распространяются лишь на расстоянии прямой видимости. Необходимость передачи широкого спектра частот телевизионных сигналов значительно усложняет и удорожает телевизионную аппаратуру. Все это заставило уделять исключительно большое внимание вопросам изучения спектра частот телевизионного сигнала и методам его сужения.

Низшая частота сигнала изображений. Самый низкочастотный сигнал получается при передаче неподвижного изображения, состоящего из двух горизонтальных полос — одной белой и одной черной (рис. 1.17*а*). Соответствующий этому изображению сигнал показан в правой части рисунка. Он представляет собой импульсы с периодом следования, равным времени передачи кадра $T_{кадр}$. Частота первой гармоники сигнала (обозначена пунктиром на рис. 1.17*а*) в этом случае

$$f_{с.мин} = 1/T_{кадр} = f_{кадр}, \qquad (1.8)$$

где $f_{кадр}$—частота кадровой развертки (число кадров, передаваемых в секунду).

Высшая частота сигнала изображения. Частоты сигналов, получающихся при некоторых простейших изображениях, состоящих из чередующихся черных и белых горизонтальных $m_г$ или вертикальных $m_в$ полос, приведены на рис. 1.18. Сигнал низшей частоты $f_{с.мин}$, соответствующий первому изображению

этого рисунка, рассмотрен выше (см. рис. 1.17*а*). Второму изображению будет соответствовать сигнал с частотой основной гармоники, в $m_г/2$ раз более высокой, чем у первого, т. е. $0{,}5 m_г f_к$ (каждая пара полос даст один период сигнала). Частота основной гар-

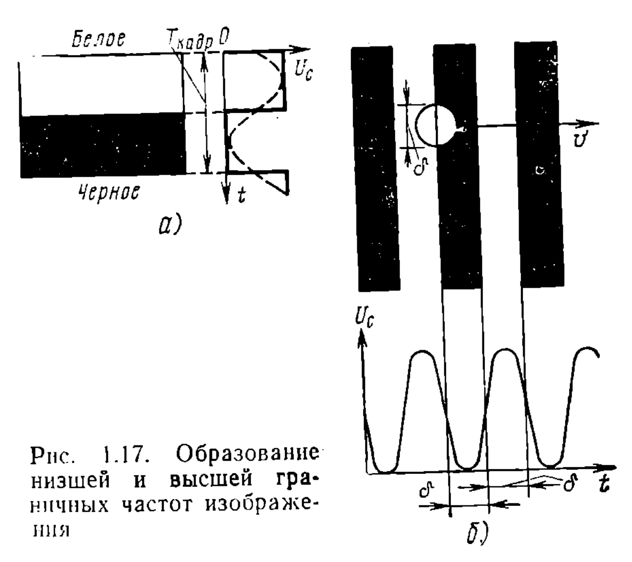


Рис. 1.17. Образование низшей и высшей граничных частот изображения

моники сигнала третьего изображения будет $f_{c3} = f_{кадр} Z = f_{стр}$, четвертого $f_{стр.4} = 0{,}5 m_в Z f_{кадр} = 0{,}5 m_в f_{стр}$. С увеличением числа вертикальных полос и с уменьшением их ширины частота сигнала изображения будет соответственно расти. Но когда ширина полос

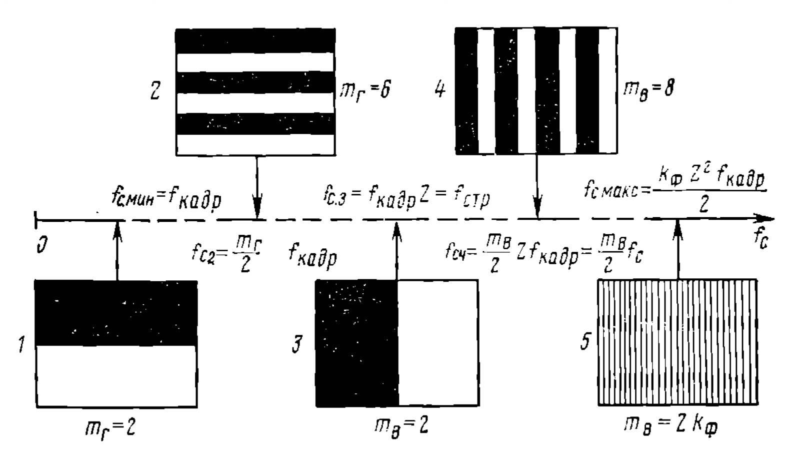


Рис. 1.18. Зависимость частоты первой гармоники сигнала от передаваемого изображения

сделается меньше величины элементов разложения (меньше диаметра развертывающего электронного луча), амплитуда сигнала из-за апертурных искажений уменьшится и передача изображений более узких полос станет невозможной. Поэтому принято считать,

что при равенстве размеров элементов разложения и ширины полос (см. рис. 1.17*б*) частота сигнала изображения достигает своего максимального значения. При этом вдоль строки (см. рис. 1.13) уложится $k_ф Z$ черных и белых полос. Развертка одной строки даст $0{,}5k_ф Z$ периодов колебаний сигнала изображения. Развертка полного кадра (всех Z строк) создаст $0{,}5k_ф Z^2$ периодов сигнала, а так как частота кадров составляет $f_{кадр}$, то максимальная частота сигнала изображения составит

$$f_{стр.макс} = 0{,}5k_ф Z^2 f_{кадр}. \quad (1.9)$$

Недостатки прогрессивной развертки. При прогрессивной развертке, о которой говорилось до сих пор, при стандартном числе строк $Z=625$ и частоте кадров $f_{кадр}=50$ Гц максимальная частота сигнала $f_{с.макс}=4\cdot625^2\cdot50/3\cdot2\approx13$ МГц.

Создание каналов связи для передачи столь широкополосных сигналов встречает исключительные трудности и в ряде случаев делает невозможной передачу телевизионных изображений. В связи с этим усилия множества ученых были направлены на изыскание возможностей сужения спектра телевизионных сигналов.

Чересстрочная развертка. Рассмотрим сущность чересстрочной развертки и выясним ее достоинства и недостатки.

Сущность и получение чересстрочной развертки. Из выражения (1.9) видно, что уменьшить $f_{с.макс}$ можно, либо уменьшая Z, но это повлечет за собой снижение четкости сигнала по вертикали, либо уменьшая $f_{кадр}$, но это повлечет за собой повышение заметности мерцания. Других путей как будто бы не видно. Но это не так. Оказалось, что в телевидении можно применить искусственный прием, до этого уже использовавшийся в кинотехнике. Там, чтобы сократить расход пленки, снимают кинофильмы со скоростью 24 кадра в секунду. А чтобы уничтожить мерцания, каждый кадр проецируют на экране дважды. Вследствие этого экран освещается 48 раз в секунду, что выше критической частоты мерцания, и зритель мерцаний не ощущает.

В телевидении подобный эффект был достигнут благодаря применению чересстрочной развертки. При чересстрочной развертке каждый кадр передается двумя полукадрами: полукадром (полем) нечетных строк и полукадром (полем) четных строк, причем эти полукадры передаются один за другим (рис. 1.19). В результате такой последовательной передачи полукадров экран телевизора засвечивается в 2 раза чаще, чем передаются кадры, и мерцания делаются незаметными. Применение чересстрочной развертки позволяет взять частоту полукадров, определяющую мерцание экрана, равной частоте электросети 50 Гц и этим ликвидировать мерцание и ослабить помехи от сети переменного тока. Частота кадров при этом оказывается равной 25 Гц, что снижает в 2 раза высшую частоту сигнала изображения.

Следует отметить, что несмотря на снижение частоты вертикальной развертки в 2 раза (25 Гц), минимальная частота сигнала изображения $f_{с.мин}$ остается прежней (50 Гц).

Как же осуществить чересстрочное разложение? Как практически заставить электронный луч «прочертить» на экране сначала нечетные строки, а затем в промежутках между ними четные?

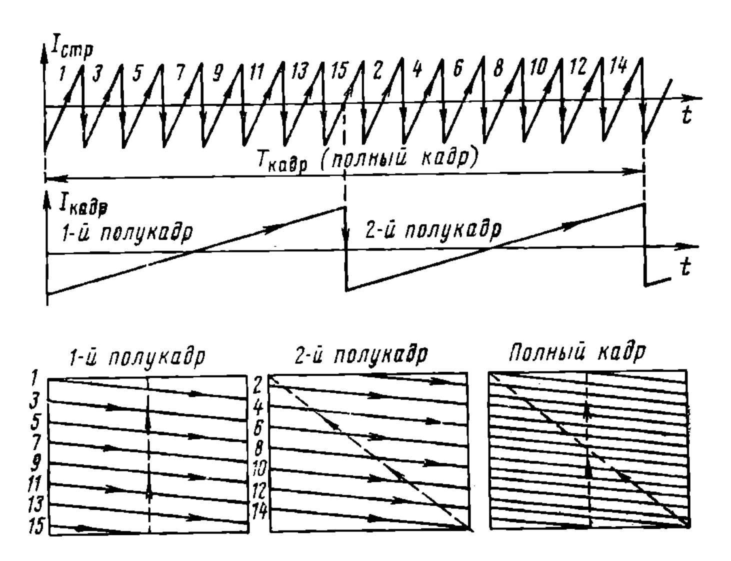


Рис. 1.19. Идеализированные временные графики развертывающих токов и получение растра при чересстрочной развертке (время обратных ходов принято равным нулю, а число строк для простоты взято $Z=15$)

Оказалось, что для этого необходимо соблюсти следующие два не очень сложных требования:

1. Общее число строк в кадре должно быть нечетным[1], т. е. чтобы $Z=2n+1$, где n — любое целое число.

2. Частота горизонтальной развертки $f_{стр}=Zf_{кадр}$ и частота вертикальной развертки (развертки полей) $f_{п.кадр}=2f_{кадр}$ должны постоянно находиться в неизменном соотношении

$$f_{стр}/f_{п.кадр}=0{,}5Z=n+0{,}5. \qquad (1.10)$$

Достоинства и недостатки чересстрочной развертки. Основное достоинство чересстрочной развертки — сужение в 2 раза полосы частот видеосигнала при отсутствии мерцания.

К недостаткам относятся:

1. Усложнение аппаратуры. Для обеспечения жесткой связи частот развертки в соответствии с выражением (1.10) необходимо применять на передающем конце довольно сложное устройство — синхрогенератор.

2. Несколько сильней, чем при прогрессивной развертке, искажаются изображения быстро движущихся объектов.

[1] В настоящее время предложены способы получения чересстрочного разложения и при четном числе строк в кадре, но применения они не получили.

3. При недостаточно тщательной регулировке аппаратуры возможно так называемое спаривание строк (четные строки располагаются не точно в промежутках между нечетными), что приводит к снижению четкости по вертикали и увеличению заметности строчной структуры растра.

1.8. Структура спектра телевизионного сигнала

Телевизионный сигнал, получающийся при передаче изображений неподвижных объектов, обладает своеобразной особенностью— он периодичен. Периодическими колебаниями, как известно, называются колебания, бесконечно повторяющиеся через некоторый промежуток времени, называемый периодом колебаний. При достаточно длительной передаче неподвижного изображения, например телевизионной испытательной таблицы 0249, телевизионный сигнал может считаться периодическим с частотой кадров $f_{кадр}$ и приблизительно периодическим с частотой полукадров, так как содержание соседних полукадров весьма мало отличается друг от друга.

Согласно теореме Фурье любое периодическое колебание состоит из суммы постоянной составляющей, т. е. составляющей, частота которой равна нулю, и ряда гармонических (синусоидальных) колебаний — составляющих ряда Фурье. Первая гармоническая составляющая с частотой, равной обратной величине периода колебаний, т. е. $f_1 = 1/T_{кадр}$, называется первой гармоникой.

Вторая гармоника имеет частоту $f_2 = 2/T_{кадр}$. Частота строк и ее гармоники также будут гармониками частоты кадров. Так как $f_{стр} = Zf_{кадр} = 15\,625$ Гц, а $f_{кадр} = 25$ Гц, то при $Z = 625$ частота строк является 625-й гармоникой частоты кадров.

Иногда периодическое колебание может быть чисто переменным, и тогда его постоянная составляющая будет равна нулю. Амплитуды составляющих ряда Фурье падают с ростом их частоты (номера гармоники). Распределение амплитуд и фаз составляющих телевизионного сигнала зависит от содержания передаваемого изображения.

Суммировав достаточно большое число гармонических составляющих, можно получить периодическое колебание, незначительно отличающееся от заданного. Из теоремы Фурье следует, что любое периодическое колебание, в том числе и сигнал изображения, обладает линейчатым спектром с промежутками между спектральными составляющими. Наличие в полном телевизионном сигнале строчных гасящих и синхронизирующих импульсов увеличивает интенсивность гармоник спектра сигнала по их амплитуде и числу, кратных строчной частоте (рис. 1.20*а*).

Но в телевидении большей частью передаются не неподвижные, а движущиеся изображения, поэтому сигнал предыдущего кадра будет несколько отличаться от сигнала следующего. Считать его чисто периодическим уже нельзя, а следовательно, и дискретным он уже не будет. Дискретные линии спектра неподвиж-

ного изображения при движущемся изображении «расплывутся» в полосе (в участки, заполненные сигналом) (рис. 1.20б).

Однако расчеты и опыт показали, что при скоростях движения объектов, встречающихся в практике телевидения, «расплывание»

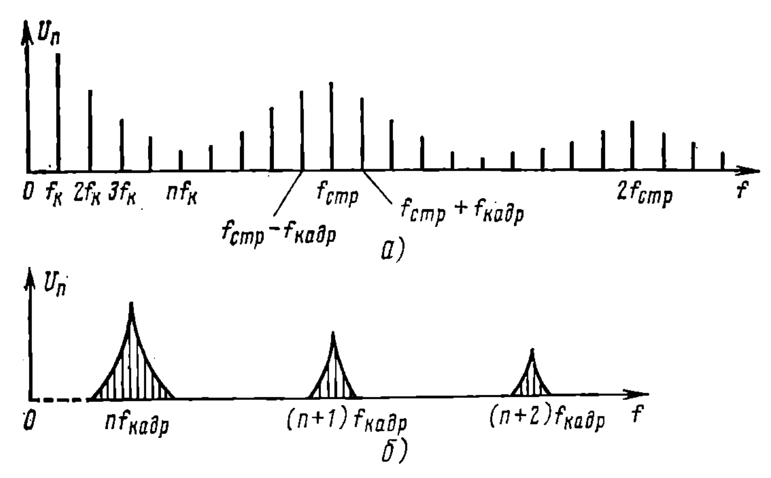


Рис. 1.20. Линейчатый спектр телевизионного сигнала:
а — при неподвижном изображении; *б* — при движущемся изображении

линий спектра в полосы сравнительно невелико, и несмотря на «расплывание» гармоник телевизионного сигнала, между ними остаются значительные «пустые» промежутки. Участки полос сигнала будут тем больше и пустые промежутки тем меньше, чем выше скорость движения деталей передаваемого объекта. Однако даже при сравнительно высоких скоростях движения объектов пустые промежутки в сигнале оказываются настолько значительными, что в них становится возможным поместить какую-то дополнительную информацию, например о цветности передаваемых объектов, без выхода за пределы обычной полосы частот канала изображения черно-белого телевидения.

1.9. Основы учения о цвете. Элементы колориметрии

Цвета и их восприятие. Как уже отмечалось выше, свет представляет собой электромагнитные колебания с длинами волн от 380 до 780 нм, к которым чувствителен человеческий глаз. Каждой длине световой волны соответствует свой определенный цвет (см. рис. 1.1).

Колебания с какой-то одной определенной длиной волны называются *монохроматическими.* Чисто монохроматические излучения в природе практически не встречаются. Подавляющее большинство реальных источников света, в частности все тепловые источники, дают не монохроматическое излучение, а излучение, состоящее из сплошного спектра световых волн, т. е. в этом излучении можно обнаружить лучи с любой длиной волны указанного

диапазона. Лишь появившиеся в недавние годы лазеры дают излучение, приближающееся к монохроматическому.

Впервые основы современной трехкомпонентной теории цветового зрения сформулировал в 1756 г. великий русский ученый М. В. Ломоносов. В дальнейшем эта теория уточнялась и дополнялась Дж. Максвеллом, Т. Юнгом, Г. Гельмгольцем и другими учеными, но основные положения этой теории остались неизменными.

Они состоят в следующем. Цветочувствительные нервные окончания сетчатки человеческого глаза (колбочки) бывают трех типов — чувствительные к красному, зеленому и синему цветам. Кривые их чувствительности весьма расплывчаты и возбуждающие их световые излучения практически всегда действуют на все три типа колбочек, но возбуждают их в различной степени. Возникающее ощущение цвета зависит от соотношения возбуждений трех указанных типов колбочек, и, следовательно, подбором надлежащего соотношения трех указанных возбуждений можно получить практически любые встречающиеся в природе цвета. При одинаковой интенсивности возбуждения всех трех типов колбочек возникает ощущение белого цвета. Три упомянутые выше цвета, называемые *основными*, являются взаимонезависимыми, т. е. ни один из них не может быть получен путем смещения двух других цветов.

Чтобы, складывая три основных цвета, можно было получить возможно большее число цветов, необходимо основные цвета брать с возможно большей насыщенностью.

Исследование цветового зрения человека показало, что глаз является очень точным и чувствительным инструментом, способным различать весьма малые изменения в излучениях. Но в то же время он обладает своеобразными особенностями, например, если глаз замечает разницу в цветах, то эти излучения различны, если же глаз не замечает разницы, то это еще не означает, что излучения одинаковы. Оказывается, можно составить множество пар излучений, совершенно различных по спектральному составу и совершенно не отличимых по цветовому тону от соответствующего монохроматического излучения. Также было установлено, что глаз хорошо различает цвета лишь сравнительно крупных предметов с угловым размером больше 25′. Цвета предметов с угловым размером 12—25′ глаз воспринимает как смесь оранжевого и голубого. При дальнейшем уменьшении размеров деталей глаз перестает различать их цвета. Очень мелкие цветные детали глаз воспринимает как бесцветные (черно-белые).

Для каждого цветового тона существует дополнительный, при смешении в соответствующей пропорции с которым он образует белый цвет.

Цвет сложного непрерывного по спектру излучения определяется характером распределения излучения по спектру (рис. 1.21). Оказывается, что источник излучения со сплошным в некотором диапазоне длин волн спектром *1* может быть по цветности заменен

монохроматическим источником 2, дающим свечение такого же *цветового тона*. Никакой разницы в цветовом тоне глаз замечать не будет. Правда, сходство цветов сложного и монохроматического излучений будет полным только в том случае, если монохроматическое излучение будет несколько «разбавлено» белым цветом. Поэтому цветовой тон любого сложного излучения принято характеризовать *доминирующей, или преобладающей длиной волны*, т. е. длиной волны того монохроматического излучения, которое, будучи смешано в определенной пропорции с излучением белого цвета, обеспечивает зрительное тождество цвета смеси с цветом сложного излучения.

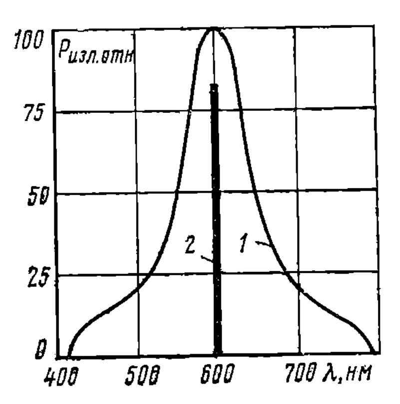


Рис. 1.21. Сложное (непрерывное) *1* и монохроматическое *2* излучение одного цвета

Исключением из изложенного правила являются пурпурные цвета, представляющие собой смесь красного и синего цветов. Ощущение пурпурного цвета не может быть получено ни от какого монохроматического излучателя.

Спектр солнечного света. Из курса физики известно, что солнечный луч, пропущенный через трехгранную стеклянную призму, разлагается ею в спектр, состоящий из семи главных цветов: красного, оранжевого, желтого, зеленого, голубого, синего и фиолетового (рис. 1.22*а*). Эти «главные» цвета не имеют резких границ и



Рис. 1.22. Спектр луча белого света:
а — разложение луча; *б* — согласование (смешение) цветов

плавно, через промежуточные цвета переходят один в другой. Таким образом, солнечный свет представляет собой смесь излучений с различными длинами волн светового диапазона, который состоит из сплошного спектра световых волн. Три упомянутых выше основных цвета принято обозначать буквами: красный *R*, зеленый *G* и синий *B*.

Эксперименты по смешению цветов обычно осуществляются с помощью гипсовой или стеклянной матовой призмы, на одну сторону которой подается исследуемый световой поток $F_ц$ (рис. 1.22*б*), а на другую — смесь основных цветов *R*, *G* и *B*.

Суммарное воздействие на глаз всего видимого спектра, имеющего распределение энергии такое же, как в солнечном свете, создает ощущение белого цвета. При ином распределении энергии по спектру свет будет иметь другой, не белый цвет.

Спектральный состав излучения и распределение энергии в спектре излучения тепловых источников света зависят от температуры излучающего тела. С повышением температуры интенсивность излучения возрастает, а максимум излучения и, следовательно, и цветовой тон свечения сдвигаются в область более коротких волн. Поэтому цветность свечения источника света принято характеризовать *цветовой температурой*, т. е. той действительной температурой, до которой необходимо нагреть абсолютное черное тело, чтобы получить от него излучение того же цвета.

Абсолютно черным называется тело, поглощающее все падающие на него лучи, т. е. совершенно не обладающее отражающей способностью. Реально таких тел не существует. К ним могут лишь приближаться искусственно создаваемые черные тела.

Параметры цвета. Свет от излучающей или отражающей световую энергию поверхности действует на органы зрения человека двояким образом, во-первых, вызывает ощущение яркости, пропорциональной количеству падающей на орган зрения энергии, и, во-вторых, цветности, т. е. ощущения цветового тона и насыщенности цвета данного излучения, определяющие его качественно.

Под *цветовым тоном* понимается то свойство цвета, которое отличает его от белого или серого и позволяет отнести к красному, синему, зеленому или другим цветам.

Под *насыщенностью цвета* понимается степень его свободы от примеси белого цвета. Количественно насыщенность определяется числом цветовых порогов (т. е. едва заметных переходов), отделяющих данный цвет от белого, равной с ним яркости.

Цветовой тон и насыщенность являются субъективными параметрами цветности. Им соответствуют физические параметры цветности — преобладающая (доминирующая) длина волны $\lambda_д$ и чистота цвета p. Под чистотой цвета понимается относительное содержание в нем спектрального цвета, т. е.

$$p=\frac{F_\lambda}{F_ц}\frac{F_\lambda}{F_б+F_\lambda}, \qquad (1.11)$$

где $F_б$ — поток белого света; $F_ц$ — световой поток данного цвета *Ц*; $F_ц=F_б+F_\lambda$.

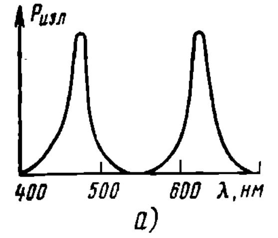
Для монохроматического цвета $F_б=0$ и $p=1$, для белого света $F_\lambda=0$ и $p=0$.

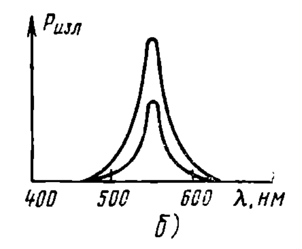
Таким образом, структуру параметров цвета можно изобразить в виде следующей схемы:

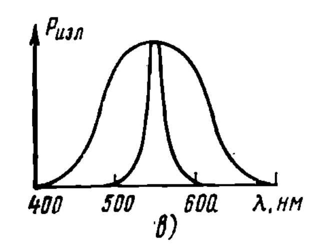
$$\text{Цвет}=\begin{cases}\text{Яркость и}\\ \text{Цветность}=\begin{cases}\text{Цветовой тон и}\\ \text{Насыщенность}\end{cases}\end{cases}$$

На рис. 1.23 приведены кривые, характеризующие немонохроматические цвета.

Способы смешения цветов. Получить все многообразие цветовых тонов (оттенков) можно, применяя два способа смешения







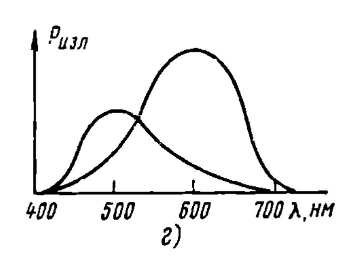


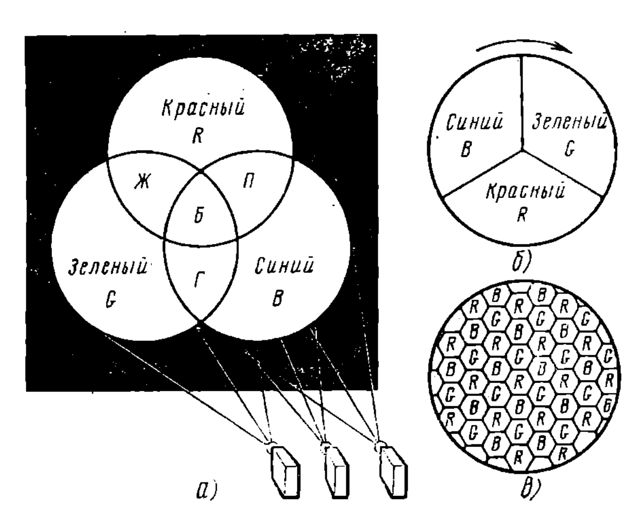
Рис. 1.23. Кривые излучений, вызывающих свечения различных цветов. Цвета различаются:
а — по цветовому тону; *б* — по яркости; *в* — по насыщенности; *г* — одновременно по цветовому тону, яркости и насыщенности

цветов: аддитивный (слагательный) и субтрактивный (вычитательный). Первый способ используется в цветном телевидении, второй в цветовой печати, фотографии и кино.

Субтрактивная смесь цветов получается в результате вычитания, например, при помощи светофильтров из белого или другого сложного света части его спектральных составляющих.

Различают следующие четыре вида аддитивного сложения цветов: *одновременное, последовательное, пространственное и бинокулярное.*

Одновременное сложение цветов поясняет рис. 1.24*а*. Три цветных фонаря одинаковой мощности проецируют на экран три све-



1.24. Различные способы смешения основных цветов:
а — одновременное;
б — последовательное;
в — пространственное

товых потока основных цветов: красного, зеленого и синего. Частично перекрываясь, эти потоки дают смешиваемые цвета, указанные в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Смешиваемые цвета	Цвет смеси
Красный и зеленый $(R+G)$	Желтый (Ж)
Красный и синий $(R+B)$	Пурпурный (П)
Синий и зеленый $(B+G)$	Голубой (Г)
Красный, зеленый и синий $(R+G+B)$	Белый (Б)

Сложение цветов можно также получить, проецируя на экране слагаемые цвета не одновременно, как было рассмотрено выше, а последовательно. Для этого перед проекционным фонарем, дающим пучок белого света, вращается диск с цветными светофильтрами (рис. 1.24*б*). При достаточно большой скорости вращения на экране образуется световое пятно суммарного цвета. Например, если в диске будет два светофильтра — красный и зеленый, то при определенном соотношении мощности слагаемых потоков пятно на экране получится желтым; при красном, зеленом и синем светофильтрах пятно будет белым.

При пространственном смешении цветов на экран проецируются мелкие точки или тонкие линии, попеременно окрашенные в основные цвета, но так, чтобы они не перекрывали друг друга (рис. 1.24*в*). Размеры точек или толщина линий должны быть такими, чтобы глаз не различал их раздельно. В этом случае будет восприниматься некоторый результирующий цвет.

При бинокулярном смешении цветов на один глаз воздействует световой поток одного цветового тона, на другой глаз — другого. Этот способ нашел применение в некоторых системах объемного телевидения.

В процессе аддитивного смешения цветов яркость цвета смеси всегда получается больше яркости любого из смешиваемых цветов и равна сумме яркостей этих цветов.

Измерение и согласование цветов. Вопросами измерения цвета занимается особая наука — колориметрия. Одной из основных задач колориметрии является определение количественных соотношений между основными цветами, смесь которых дает такое же ощущение, что и сложный измеряемый цвет. Поскольку определение этого соотношения основывается на ощущениях, которые могут у различных наблюдателей несколько различаться, были определены единые усредненные характеристики органа зрения человека (одна из них — кривая относительной видности глаза — была приведена на рис. 1.1).

Введение усредненных характеристик позволяет устранить субъективные факторы и измерять цвет так же, как измеряются мощности, токи, массы и т. п.

Словесная характеристика цвета является чрезвычайно неточной. Попробуйте описать словами расцветку какой-либо картины... Лишь очень немногие цвета имеют свои точные названия. У художников известны киноварь, берлинская лазурь, желтый хром и еще ряд цветов. В то же время глаз различает около 150 цветовых оттенков монохроматических цветов, соответствующих изменению длины световой волны от 380 до 780 нм, и около 30 оттенков пурпурных цветов, представляющих собой смесь красного с синим. А если еще учесть, что глаз при неизменном цветовом тоне различает от четырех (для желтого) до 25 (для красного цвета) градаций насыщенности, то общее число различимых глазом отдельных цветностей оказывается равным нескольким тысячам[1].

Излучение цветового зрения человека привело к выводу, что бóльшая часть цветностей, реально существующих в природе, может быть получена путем смешения (складывания) в соответствующих пропорциях трех нужным образом выбранных основных цветов.

Регулируя яркость основных цветов (см. рис. 1.22*б*), можно добиться полного подобия (согласования) цветов на обеих гранях призмы, если только насыщенность потока $F_ц$ не больше насыщенности основных цветов или смеси двух из них.

Процесс смешения цветов и получение заданного цвета $Ц$ может быть записан математически в виде так называемого цветового уравнения

$$Ц=R[R]+G[G]+B[B], \qquad (1.12)$$

где множители R, G и B — координаты цвета $Ц$; $[R]$, $[G]$ и $[B]$ — *единичные количества* основных цветов R, G и B, т. е. их количества (их световые потоки, их яркости или создаваемые ими освещенности, принятые за единицу).

Количество цвета $Ц$, выраженное в единицах основных цветов и равное $m=R+G+B$, называется *цветовым модулем* цвета $Ц$.

Если $[Ц]$ — единичное количество цвета $Ц$ в системе основных цветов R, G и B, то количество цвета в этой системе

$$Ц=m[Ц]. \qquad (1.13)$$

Единичные количества цветов $[Ц]$, $[R]$, $[G]$ и $[B]$ называются *трихроматической единицей цвета*, обозначаются буквой T и являются относительной единицей. Абсолютное значение единицы T различно для разных цветов. Цвет, для которого $R=G=B=m_0/3$, где m_0 — *модуль цвета* $Ц_0$, называется *равностимульным* и обозначается $Ц_0$. Если $R=G=B=1T$, то $m_0=3T$.

Подставив (1.13) в (1.12), получим $m[Ц]=R[R]+G[G]+B[B]$, откуда находим цветовое уравнение для единичного количества цвета $Ц$:

$$[Ц]=\frac{R}{m}[R]+\frac{G}{m}[G]+\frac{B}{m}[B].$$

---

[1] Некоторые исследователи приводят значительно бóльшие цифры. Например, встречаются указания, что глаз способен различать до 10 млн. различных цветов, отличных по цветовому тону, насыщенности и яркости [7.10, с. 14].

Введя обозначения

$$r=\frac{R}{m}=\frac{R}{R+G+B}\,;\; g=\frac{G}{m}=\frac{G}{R+G+B}\,;$$
$$b=\frac{B}{m}=\frac{B}{R+G+B}\,, \qquad (1.14)$$

получим

$$[Ц]=r[R]+g[G]+b[B]. \qquad (1.15)$$

Из (1.14) следует, что

$$r+g+b=1. \qquad (1.16)$$

Множители r, g и b называются *координатами цветности* цвета *Ц*. Они определяют относительную величину цветов *R*, *G* и *B* в составе единичного количества цвета *Ц*.

Однако нередко могут встретиться случаи, когда на гранях призмы (см. рис. 1.22*б*) не удается получить согласования исследуемого цвета *Ц* со смесью трех основных цветов. Это происходит в том случае, когда цвет *Ц* представлен точкой, лежащей вне треугольника основных цветов *RGB*. В таких случаях оказывается возможным достичь согласования цветов обеих граней, если один или два из основных цветов перенести с правой грани призмы на левую (см. пунктирную стрелку на рис. 1.22*б*). Цветовое уравнение при этом примет вид $Ц-rR=gG+bB$.

Цветовой график (диаграмма цветности). Цвет как результат воздействия на глаз трех основных цветов представляет собой трехмерную величину, которая может быть изображена вектором *OP* (рис. 1.25*а*) в пространстве, имеющем три измерения, так называемом цветовом пространстве. В цветовом пространстве каждому цвету соответствует определенная точка, и можно считать, что каждой точке соответствует определенный цвет.

Начало координат *O* системы, изображенной на рис. 1.25*а*, представляет цвет с нулевым количеством каждого основного цве-

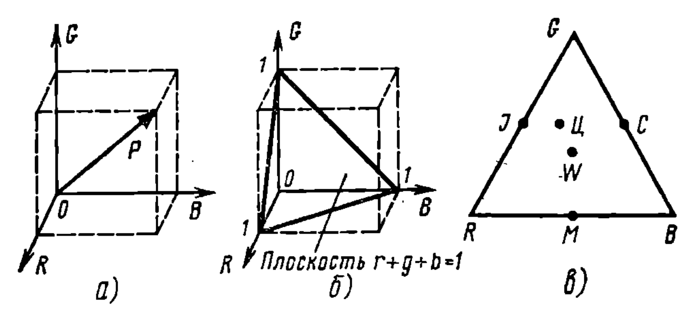


Рис. 1.25. Вектор цвета в цветовом пространстве:
а — цветовое пространство (*P* — вектор цвета); *б* — плоскость цветового пространства, уравнение которой $r+g+b=1$ (цветовой треугольник); *в* — треугольник Максвелла

та, т. е. черный цвет. Длина вектора *OP* показывает яркость цвета, а его положение — цветность, т. е. цветовой тон и насыщенность. Все цвета, лежащие на прямой, проходящей через начало координат, имеют одну и ту же цветность и различаются лишь по яркости.

Поскольку сумма координат цветности равна единице, то достаточно знать две из них, третью можно легко найти из (1.16).

Геометрически все цветности можно представить точками на плоскости в цветовом пространстве, для которой справедливо равенство: $r+g+b=1$ (рис. 1.25*б*).

В цветовом пространстве все цвета (концы цветовых векторов), отвечающие условию (1.16), лежат в плоскости, называемой единичной. Координатные плоскости, пересекаясь с единичной плоскостью, образуют на ней цветовой треугольник *RGB*. В частном случае треугольник *RGB* будет равносторонним, как показано на рис. 1.25*б* и *в*. Впервые цветовой треугольник *RGB* на плоскости предложил известный английский физик Дж. Максвелл. Треугольник Максвелла представляет собой равносторонний треугольник. Внутри этого треугольника размещаются все цветовые тона и все градации насыщенности, которые можно получить из основных цветов *R*, *G* и *B* (см. рис. 1.25*а*).

Точка *Ц*, расположенная внутри треугольника, представляет собой некоторый цвет. Расположенные на стороне *RB* точки представляют цвета, содержащие основные красный и синий цвета, но не содержащие в своем составе зеленого. Например, точка *M*, расположенная на середине прямой *RB*, соответствует пурпурному цвету, дополнительному к зеленому. Точно так же расположенная на середине прямой *RG* точка *J* соответствует желтому цвету, дополнительному к синему, который находится на противоположной вершине. Точка *W* представляет собой белый цвет. Все точки на данной прямой, проходящей через точку *W*, имеют одинаковый цветовой тон, но разную насыщенность (разную «разбавленность» белым). По мере приближения к этой точке цвет будет как бы выцветать и в точке *W* станет совершенно белым. По мере удаления от точки *W* цветовой тон не изменится, а будет лишь увеличиваться насыщенность цвета и в конце концов будет достигнута точка, насыщенность которой равна 100%. Цвет станет чисто монохроматическим. Соединив все монохроматические точки сплошной кривой, получим так называемый локус[1] или линию спектральных цветов (рис. 1.26*а*).

Рассмотрим в качестве примера один из возможных вариантов нахождения цветности точки *Ц* (1.26*б*), заданной уравнением $[Ц]=0{,}3[R]+0{,}5[G]+0{,}2[B]$. Для облегчения выполнения этой задачи на треугольник *RGB* нанесена сетка прямых, соответствующих постоянным значениям координат цветности r, g и b, т. е. делящих высоты треугольника на части, соответствующие r, g и b. Эта сетка построена для случая, когда в качестве так называемого *равностимульного цвета* выбран белый цвет *E*, помещенный в точке пересечения медиан треугольника *RGB*; при этом для цвета *E* $r=g=b=1/3$.

Стандартные колориметрические системы МКО. До 1931 г. не существовало единой общепринятой колориметрической системы

[1] Локус (лат.) — место.

для определения и измерения цвета. Каждый исследователь пользовался системой собственной разработки со своими основными цветами.

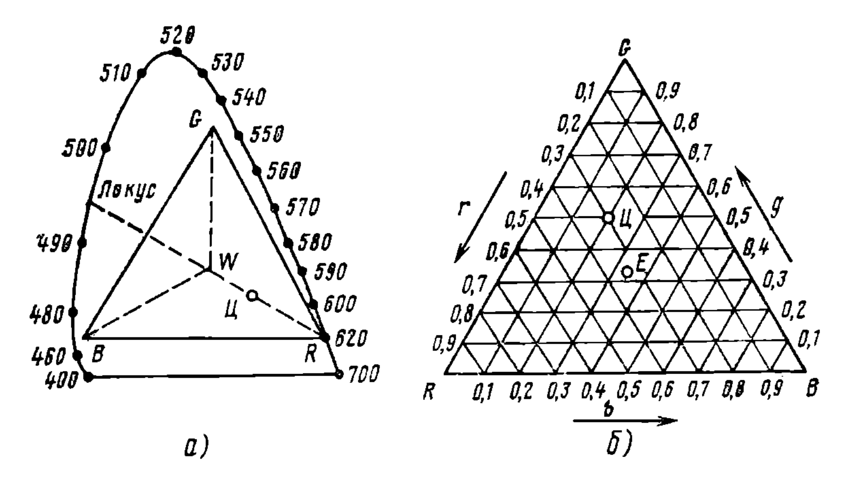


Рис. 1.26. Локус и цветовой треугольник *RGB*:
а — цветовой треугольник; *б* — сетка координат цветности и нахождение цвета *Ц*=0,3[*R*]+0,5[*G*]+0,2[*B*]

Это сильно затрудняло обобщение и сопоставление результатов исследования. Поэтому международная комиссия по освещению (МКО) в 1931 г. стандартизовала две единые международные колориметрические системы, обозначаемые *RGB* и *XYZ*.

В системе *RGB* в качестве основных цветов были приняты монохроматические цвета: красный с $\lambda_R = 700$ нм, зеленый с $\lambda_G = 546{,}1$ нм и синий с $\lambda_B = 435{,}8$ нм.

В качестве равностимульного цвета в системе *RGB* принят равноэнергетический белый цвет, получаемый в результате смешения основных цветов и обозначаемый буквой *E*. Для этого цвета $R = G = B$, где *R*, *G* и *B* — координаты цвета *E* в этой системе, что соответствует равенству координат цветности $r = g = b = 1/3$.

Относительные яркости цветов *R*, *G* и *B* при получении цвета *E* отвечают условию $L_{[R]} : L_{[G]} : L_{[B]} = 1 : 4{,}5907 : 0{,}0601$ и приняты за единичные количества [R][G] и [B] этих цветов.

Система *RGB* удобна тем, что ее параметры можно определить экспериментально, так как основные цвета *R*, *G* и *B* являются реальными цветами.

Из недостатков системы *RGB* необходимо в первую очередь отметить наличие отрицательных координат цветности для большой группы спектральных цветов, что затрудняет расчеты. Поэтому для упрощения расчетов МКО на той же сессии в 1931 г. приняла еще систему основных цветов *X*, *Y* и *Z*.

Основные цвета *X*, *Y* и *Z* являются нереальными (теоретическими), но удобными для расчетов, так как для них координаты цветности всех спектральных цветов всегда положительны.

Цветовой график, утвержденный МКО и названный XYZ (рис. 1.27), дан в виде прямоугольной системы координат xy, где xyz — координаты цветности в системе XYZ, причем $x+y+z=1$. Благодаря этому локус спектральных цветов полностью находится внутри цветового треугольника XYZ, и все значения координат цветности xyz будут положительны.

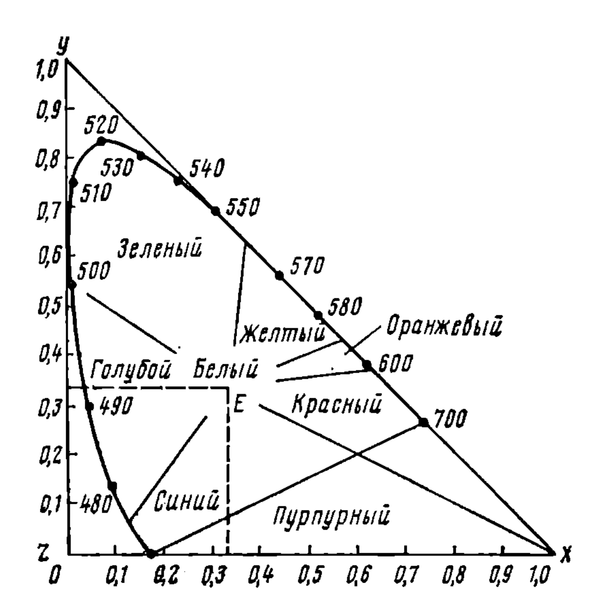


Рис. 1.27. Цветовой график МКО XYZ

Основное цветовое уравнение в системе XYZ по аналогии с (1.12) имеет вид

$$Ц=m(Ц)=X(X)+Y(Y)+Z(Z), \quad (1.17)$$

где X, Y и Z — координаты цвета $Ц$;

$$m=X+Y+Z \quad (1.18)$$

— цветовой модуль цвета $Ц$.

Цветность светового потока также может быть выражена через координаты цветности

$$(Ц)=x(X)+y(Y)+z(Z), \quad (1.19)$$

где $x=X/m$; $y=Y/m$; $z=Z/m$.

Показанный на рис. 1.27 цветовой треугольник в системе XYZ, в вершинах которого находятся основные цвета X, Y и Z, равнобедренный. Положение любой точки на нем, характеризующей определенную цветность, задается двумя координатами цветности x и y.

1.10. Принципы построения системы цветного телевидения

Принципы передачи цветного изображения. Поскольку любой цвет многоцветного телевизионного изображения может быть воспроизведен из трех основных цветов: красного, зеленого и синего, то для передачи по телевидению изображений объектов необходимо:

оптически разложить их на три одноцветных изображения в указанных основных цветах;

три одноцветных изображения преобразовать в три электрических сигнала;

передать эти сигналы по каналам связи;

обратно преобразовать электрические сигналы в три одноцветных оптических изображения красного, зеленого и синего цветов;

осуществить оптическое пространственное совмещение трех одноцветных изображений в одно многоцветное.

Передавать электрические сигналы, соответствующие красному, зеленому и синему изображениям, можно или последовательно один сигнал цветного изображения за другим по одному каналу связи или одновременно три сигнала по трем отдельным каналам связи. Отсюда возникли два класса систем цветного телевидения: системы с последовательной и с одновременной передачей цветных сигналов.

Последовательная система цветного телевидения исторически была первой цветной телевизионной системой передачи цветовых сигналов. Для получения цветного изображения в этой системе перед передающей трубкой и перед приемным экраном помещаются диски, состоящие из красного, зеленого и синего светофильтров и вращающиеся синхронно и синфазно с разверткой. Например, при передаче каждого полукадра происходит смена цвета светофильтра.

Принцип работы последовательной системы цветного телевидения поясняет рис. 1.28. Для предотвращения мерцания цветов не-

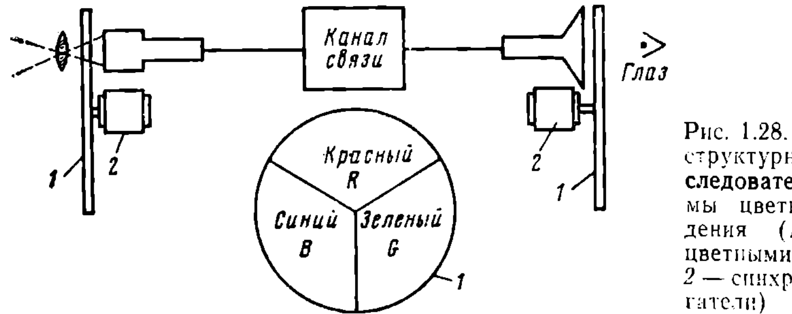


Рис. 1.28. Упрощенная структурная схема последовательной системы цветного телевидения (*1* — диски с цветными фильтрами; *2* — синхронные двигатели)

обходимо изображение каждого цвета передавать с частотой не меньше критической частоты мерцания, т. е. примерно 50 кадров, или при чересстрочной развертке 50 полей в секунду. Так как не-

обходимо передать три цветных изображения, то число передаваемых полей в секунду должно быть 150, или 75 кадров в секунду.

При сохранении четкости изображений трехкратное увеличение частоты кадров приводит к трехкратному увеличению полосы частот изображения, а это приводит к тому, что параметры и характеристики последовательной системы цветного телевидения сильно отличаются от параметров и характеристик системы черно-белого телевидения и становится трудно добиться взаимодействия этих систем. Это основной недостаток последовательных систем. Однако для некоторых прикладных целей эти системы получили применение.

Одновременная система цветного телевидения. Оптическое изображение передаваемых объектов на передающем конце системы (рис. 1.29) делится с помощью цветоизбирательных зеркал (см. гл. 2) на три составляющие в трех основных цветах и подается на

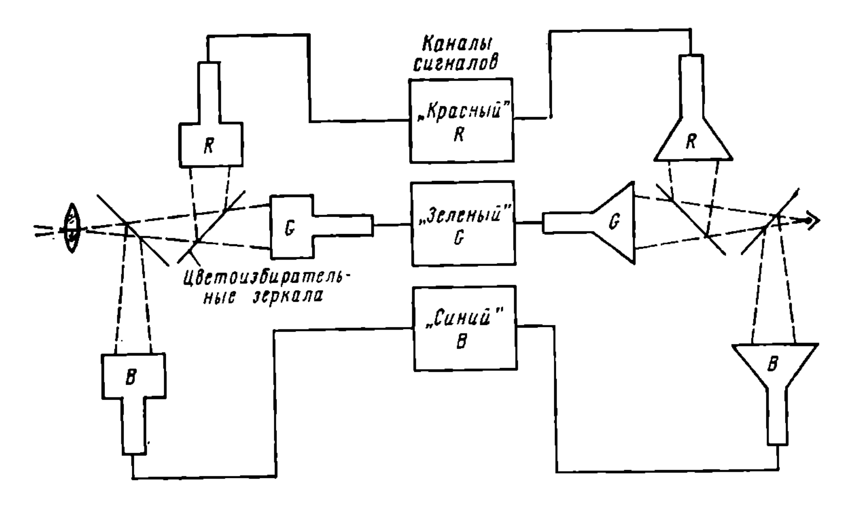


Рис. 1.29. Упрощенная структурная схема одновременной системы цветного телевидения

три передающие трубки. В результате на каждую передающую трубку попадает не весь световой поток, отраженный передаваемой сценой, а только один, соответствующий красной, зеленой и синей составляющим изображения. Такие одноцветные изображения называются *цветоделенными*.

Передающие трубки преобразуют спроектированные на их мишени цветоделенные изображения в электрические сигналы, которые каждый по своему каналу направляются к приемнику. Принятые сигналы управляют интенсивностью электронных лучей приемных трубок, имеющих экраны с цветным свечением, в результате чего на экранах образуются одновременно три цветоделенных изображения. Эти изображения смешиваются (складываются) с помощью цветоизбирательных зеркал или путем проекции на один общий экран и наблюдаются телезрителем.

При сохранении четкости и частоты кадров системы черно-белого телевидения в такой цветной системе нет необходимости как-то изменять параметры разверток. При этом полоса частот каждого канала сохраняется прежней, а в целом для работы требуется утроенная полоса частот каналов связи. Таким образом, о каждом элементе изображения в данной системе вместо одной величины, характеризующей его яркость, требовалось передать три величины, характеризующие цвет этого элемента.

Совместимость систем цветного и черно-белого телевидения. В начале пятидесятых годов в США и СССР несколько лет эксплуатировались вещательные системы цветного телевидения с поочередной передачей цветов. Опытная станция цветного телевидения на Московском телецентре была введена в строй в 1953 г. и имела следующие основные параметры: номинальное число строк 525, развертка чересстрочная, число полей в секунду 150, разнос несущих частот изображения и звука 9,75 МГц и полная полоса частот, занимающая в эфире 12 МГц, т. е. в полтора раза больше, чем в стандартном черно-белом телевидении.

Для приема передач МОСЦТ промышленностью был выпущен цветной телевизор «Радуга» с размером экрана как у КВН. Но даже при таком маленьком экране диаметр диска был равен 400 мм.

Опыт эксплуатации системы с последовательной передачей цветов как в нашей стране, так и за рубежом показал, что она не может эксплуатироваться одновременно и совместно с существующей широкораспространенной системой черно-белого телевидения. Происходит это вследствие того, что параметры разверток у них совершенно различны (25 и 75 кадров в секунду). Соответственно различны частоты строк, а следовательно, и полосы частот сигнала изображения. Существующая сеть телевизионных центров и каналов связи для передачи телевизионных сигналов не может быть приспособлена для передачи цветных изображений. Наконец, многомиллионный парк черно-белых телевизоров не может принимать передачи цветных телецентров и, наоборот, владельцы цветных телевизоров не могут принимать черно-белые изображения.

Поэтому перед специалистами в области телевидения различных стран было выдвинуто категорическое требование — создать систему цветного телевидения, которая была бы полностью совместимой с существующей системой черно-белого телевидения. А именно, чтобы обе системы имели одинаковые параметры развертки, могли использовать общие телевизионные центры и каналы связи и чтобы владельцы цветных телевизоров без каких бы то ни было переделок могли принимать черно-белые передачи, а владельцы черно-белых телевизоров — цветные передачи (конечно, в черно-белом виде).

Изучение этого вопроса показало, что создать систему цветного телевидения, совместимую с существующей системой черно-белого телевидения, можно только на основе одновременной пе-

редачи цветов, так как при этом не требуется утроения частоты смены кадров. Но одновременная система требует трех самостоятельных каналов связи, каждый из которых нуждается в такой же полосе частот, как и черно-белый канал. Получается та же утроенная полоса частот. Поэтому нужно было изыскать способ уплотнения спектра черно-белого сигнала дополнительной информацией о передаваемых цветах.

Было предложено много различных вариантов совместимых систем цветного телевидения, из которых только три получили практическое применение в телевизионном вещании — это системы NTSC, PAL и СЕКАМ.

Глава 2

Датчики телевизионных сигналов

2.1. Классификация датчиков телевизионных сигналов

Датчиком телевизионного сигнала называется устройство, генерирующее сигнал изображения. Основными элементами датчика являются преобразователь свет — сигнал, устройство развертки, оптический узел и предварительный усилитель сигнала изображения. В качестве преобразователя свет — сигнал используются: фотоэлектронные умножители, передающие телевизионные трубки, твердотельные (безвакуумные) аналоги передающих телевизионных трубок.

Как правило, датчик телевизионного сигнала конструктивно выполняется в виде отдельного прибора — так называемой передающей телевизионной камеры.

Датчики телевизионных сигналов можно разделить на группы:

1) датчики мгновенного действия;

2) датчики с накоплением зарядов;

3) специальные датчики телевизионных испытательных сигналов.

В зависимости от способа развертки датчики мгновенного действия делятся на:

датчики с электронной разверткой (с бегущим лучом и диссектор);

датчики с оптико-механической разверткой (с диском Нипкова, с зеркальным винтом или барабаном и с системой качающихся зеркал);

датчики скомбинированной разверткой (развертка по строке электронная, а по кадрам — оптико-механическая).

Основным элементом датчика с накоплением зарядов являются передающие телевизионные трубки или их твердотельные (безвакуумные) аналоги.

Передающие телевизионные трубки с накоплением зарядов можно разбить на четыре группы, принцип работы которых основан на использовании различных физических процессов:

внешнего фотоэффекта (иконоскоп, супериконоскоп, суперортикон, изокон и суперизокон);

внутреннего фотоэффекта в фотопроводящих мишенях (видиконы);

внутреннего фотоэффекта в фотодиодных мишенях (плюмбикон, кремникон, халникон, кадмикон);

совместного использования внешнего фотоэффекта и явления возбужденной (наведенной) проводимости (эйбикон, секон).

Твердотельные (безвакуумные) аналоги телевизионных передающих трубок будут рассмотрены в гл. 11.

Специальные датчики телевизионного сигнала применяются для контроля и настройки телевизионной аппаратуры. Эти датчики не содержат преобразователя свет — сигнал и генерируют специальные испытательные телевизионные сиг-

налы, дающие на экранах телевизоров и видеоконтрольных устройств испытательное изображение, позволяющее определять параметры телевизионной системы и произвести ее ргулировку.

Видеомагнитофоны, которые также являются датчиками заранее записанных телевизионных программ, описаны в гл. 8.

Изучение устройства и принципа работы датчиков телевизионных сигналов целесообразно начать с простейших, т. е. с датчиков мгновенного действия.

2.2. Датчики мгновенного действия

Датчик с бегущим лучом. Рассмотрим функциональную схему и фотоэлектронный усилитель такого датчика.

Функциональная схема датчика с бегущим лучом показана на рис. 2.1.

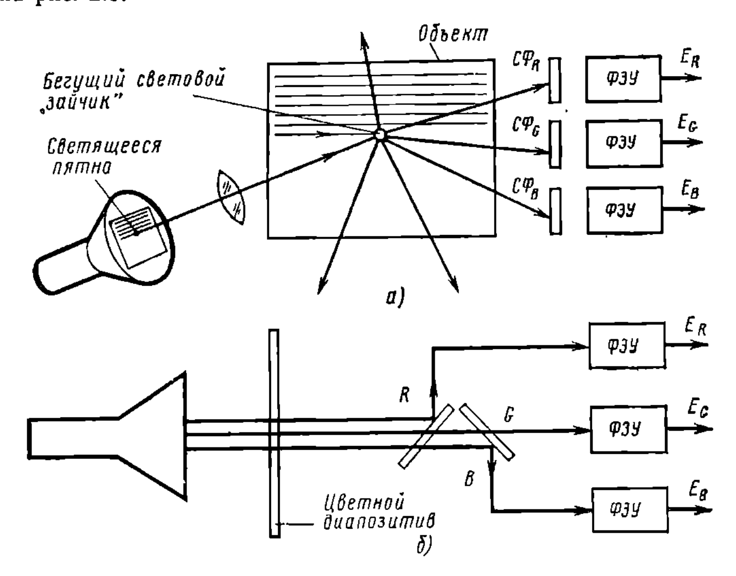


Рис. 2.1. Телевизионные датчики с бегущим лучом:
а — работа на отражение; *б* — работа на просвет

В качестве источника освещения передаваемого объекта используется проекционный кинескоп с большой яркостью свечения, но обладающий малым временем послесвечения экрана.

Изображение светящегося развертывающего пятна с экрана кинескопа проецируется с помощью объектива на передаваемый объект (рис. 2.5*а*) в виде светового «зайчика». В процессе развертки световое пятно перемещается по экрану кинескопа, формируя телевизионный растр, а световой «зайчик» по закону телевизионной развертки обегает всю поверхность передаваемого объекта.

Часть светового потока, отраженного передаваемым объектом, попадает на фотокатод фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). Когда «зайчик» освещает светлые детали передаваемого объекта, уровень сигнала на выходе ФЭУ возрастает, когда освещает темные детали — падает.

Датчик с бегущим лучом прост, обеспечивает высокое качество передаваемых изображений и может быть использован для передачи цветных изображений, для чего необходимы три ФЭУ с тремя светофильтрами (красным, зеленым, синим).

Недостатком является невозможность его работы при наличии постороннего освещения. Такие датчики применяются для передачи различных графических документов (на отражение), а также для передачи диапозитивов и кинофиль-

мов на просвет (см. рис. 2.1*б*). Для разделения светового потока в этом случае используется система цветоотделительных зеркал (см. § 2.11).

Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) представляет собой комбинацию в одном баллоне вакуумного фотоэлемента и вторично-электронного умножителя (рис. 2.2*а*). Изобрел ФЭУ советский ученый Л. А. Кубецкий в 1930 г. и независимо от него Фарнсворт (США).

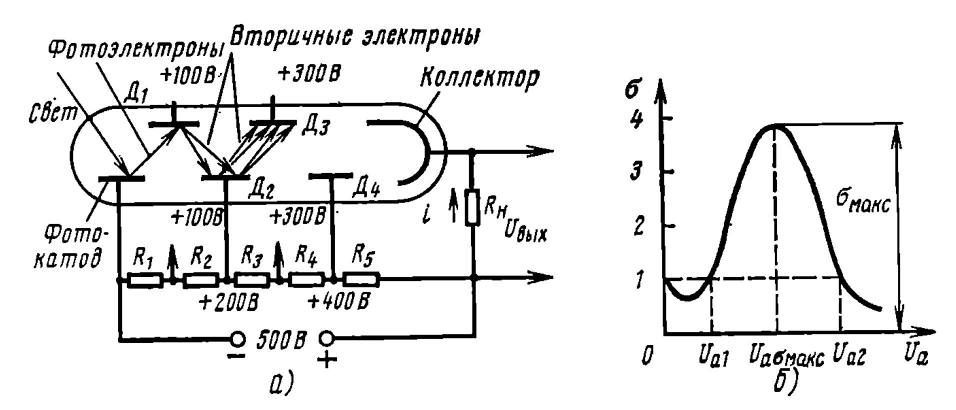


Рис. 2.2. Фотоэлектронные умножители:
а — схема включения; *б* — зависимость коэффициента вторичной эмиссии от скорости бомбардирующих электронов

Кванты света, попадая на поверхность фотокатода (рис. 2.2*а*), выбивают фотоэлектроны, которые устремляются к первому аноду (в ФЭУ аноды называют динодами — от слова динатронный эффект).

Сущность *динатронного эффекта* основана на явлении вторично-электронной эмисси: быстро летящие электроны, встречая на своем пути твердое вещество (металл, диэлектрик, полупроводник), внедряются в толщу этого вещества и отдают его атомам свою энергию. При этом энергия электронов вещества возрастает. Возбужденные электроны, способные покинуть вещество (совершить работу выхода), становятся вторичными электронами.

Благодаря динатронному эффекту каждый из фотоэлектронов выбивает из первого динода несколько вторичных электронов, которые в свою очередь устремляются к следующему диноду, имеющему более высокий положительный потенциал, и также выбивает вторичные электроны.

Отношение числа вторичных электронов к числу первичных называется *коэффициентом вторичной эмиссии* σ. Коэффициент вторичной эмиссии σ зависит, во-первых, от скорости первичных электронов и, во-вторых, от свойств вещества, из которого выбиваются вторичные электроны при бомбардировке его первичными.

Явление вторично-электронной эмиссии играет большую роль в работе передающих телевизионных трубок, и поэтому остановимся на нем подробнее. Как известно, скорость электрона v в электрическом поле определяется ускоряющим напряжением $u_а$, создающим это поле, т. е. $v \approx 600 \sqrt{u_а}$, км/с.

При малых скоростях электроны обладают малой кинетической энергией и число вторичных электронов значительно меньше, чем первичных — коэффициент вторично-электронной эмиссии меньше единицы. При повышении ускоряющего напряжения коэффициент вторично-электронной эмиссии растет, но достигнув некоторого максимума, значение которого зависит от свойств вещества, начинает падать. Это объясняется тем, что при очень больших скоростях первичные электроны глубого внедряются в толщу вещества и возбужденные ими вторичные электроны вещества оказываются неспособными совершить работу выхода.

Коэффициент усиления вторично-электронного умножителя $K = \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \ldots \ldots, \sigma_n$, где σ — коэффициент вторично-электронной эмиссии; n — номер динода.

Так как все диноды выполняются из одного и того же материала, то $K = \sigma^n$.

Вторично-электронный усилитель (ВЭУ) дает очень большое усиление, например при $\sigma=5$ и $n=10$ $K=5^{10}\approx 10^7$.

Достоинством вторично-электронного умножителя по сравнению с ламповыми и транзисторными усилителями являются: низкий уровень собственных шумов; широкая полоса пропускания; простота конструкции, малые габариты и масса. Данные отечественных ФЭУ приведены в [1.14].

Диссектор (от английского слова «рассекать») предложен Фарнсвортом (США). В основу конструкции диссектора положены следующие три принципа:

перенос электронного изображения,

использование для развертки не движения анализирующей апертуры, как в диске Нипкова (см. гл. 1), а движения электронного изображения относительно неподвижной апертуры (предложено Дикманом и Хеллом — США 1926 г.);

вторично-электронное усиление сигнала изображения.

Принцип переноса электронного изображения был впервые использован в электронно-оптических преобразователях приборов ночного видения (рис. 2.3). Простейший электронно-оптический преобразователь (ЭОП) представляет собой стеклянный баллон с плоскими параллельными торцовыми стенками. На внутреннюю поверхность его передней торцовой стенки нанесен полупрозрачный фотокатод *1*, чувствительный к инфракрасным лучам, а на внутреннюю поверхность задней стенки — люминофор *2*. Между катодом и люминесцирующим экраном прикладывается напряжение в несколько киловольт, ускоряющее фотоэлектроны *3*.

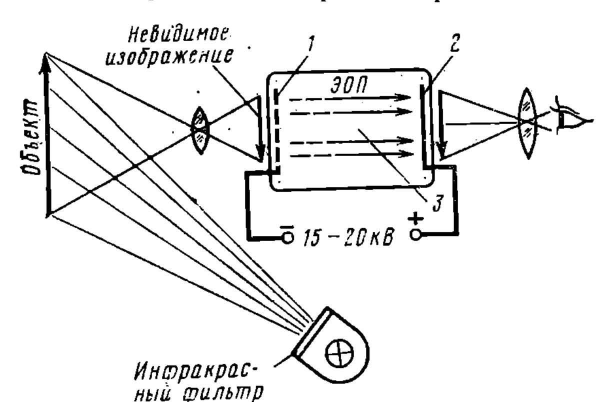


Рис. 2.3. Принцип работы простейшего электронно-оптического преобразования или прибора ночного видения

Наблюдаемые в темноте предметы освещаются инфракрасными лучами, источником которых может быть любой температурный источник света (прожектор, автомобильная фара и т. п.), закрытый инфракрасным светофильтром. Отраженные от наблюдаемого объекта лучи создают на фотокатоде ЭОП невидимое инфракрасное изображение. Кванты инфракрасного света выбивают из фотокатода фотоэлектроны, которые под действием ускоряющего поля переносятся на экран и создают на нем уже видимое глазом изображение наблюдаемого в темноте объекта.

В процессе переноса электронного изображения происходит расфокусировка из-за взаимного отталкивания электронов, летящих от фотокатода к экрану. Поэтому в современных ЭОП применяют либо электростатическую либо магнитную фокусировку.

Диссектор (рис. 2.4) представляет собой стеклянный баллон, содержащий две секции: секцию переноса электронного изображения и секцию вторично-электронного умножения сигнала изображения. На входе вторично-электронного умножителя помещена диафрагма — непрозрачная пластина с маленьким отверстием, размеры которого определяют один элемент разложения.

Снаружи на баллон надеваются длинная фокусирующая катушка (катушка переноса) *ФК* и отклоняющая система *ОС*, состоящая из двух пар отклоняющих катушек — строчных и кадровых.

Рассмотрим роль длинной фокусирующей катушки[1]. Фотоэлектроны, вылетая из фотокатода, имеют разную начальную скорость и летят под разными углами (рис. 2.5*а*). Под действием ускоряющего поля $U_а$ (считаем, что *ФК* пока отсутствует) траектории электронов, летящих под углом к оси трубки, искривляются

[1] Элементы электронной оптики изложены в [2.9, 2.15].

и становятся параллельными этой оси. Фотоэлектроны, вылетающие из какой-либо одной точки фотокатода, уже не попадают в одну точку на экране, а образуют так называемый кружок рассеяния (рис. 2.6*а*). В результате изображение на поверхности экрана (в диссекторе роль экрана выполняет диафрагма) будет не четким (расфокусированным).

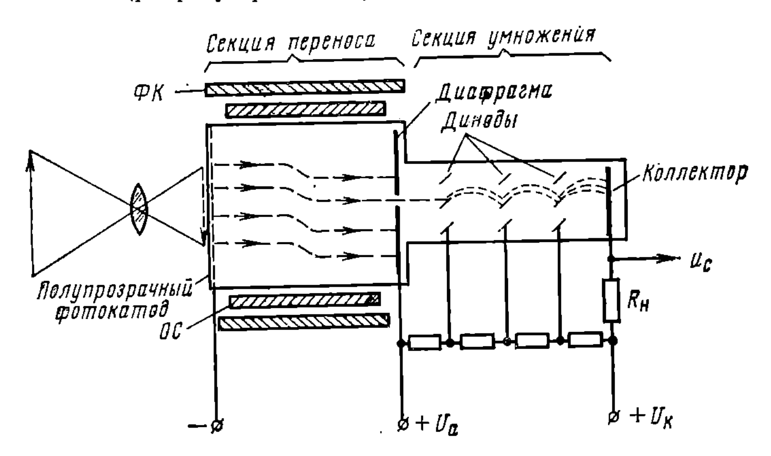


Рис. 2.4. Устройство диссектора

Фокусирующая катушка создает между фотокатодом и диафрагмой равномерное магнитное поле, силовые линии которого направлены параллельно силовым линиям ускоряющего электрического поля. На фотоэлектроны, вылетающие из фотокатода параллельно оси трубки, действует только ускоряющее

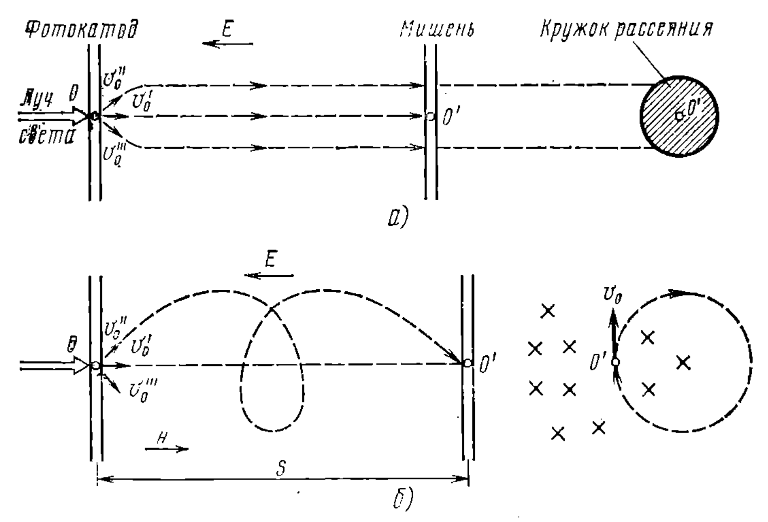


Рис. 2.5. Работа катушки переноса электронного изображения:
а — образование кружка рассеяния; *б* — фокусировка фотоэлектронов с помощью равномерного магнитного поля

электрическое поле. Продольное магнитное поле фокусирующей катушки воздействует только на те электроны, которые вылетают с поверхности фотокатода под углом к оси трубки или начинают отклоняться от параллельной траектории из-за взаимного расталкивания. Под действием магнитного поля траектория электро-

нов как бы закручивается по спирали, диаметр которой определяется напряженностью магнитного поля, а шаг — напряженностью электрического ускоряющего поля (рис. 2.5*б*). Период оборота зависит только от напряженности магнитного поля. Он не зависит ни от скорости электронов, ни от угла вылета.

Шаг одного витка спиралевидной траектории электрона может быть рассчитан по формуле

$$S = (2\pi/H)\sqrt{2mU_{\text{а}}/e},$$

где H — напряженность магнитного поля; m — масса электрона; $U_{\text{а}}$ — ускоряющее напряжение; e — заряд электрона.

Ускоряющее напряжение $U_{\text{а}}$ и напряженность магнитного поля H подбираются такими, чтобы фотоэлектроны, вылетающие из любой точки фотокатода под различными углами к оси трубки, делали один оборот и собирались на поверхности диафрагмы тоже в одной точке. Подробнее работа фокусирующих катушек изложена в гл. 3.

При отсутствии отклоняющего поля через отверстие в диафрагме будут пролетать только фотоэлектроны, эмиттируемые центром фотокатода. При наличии отклоняющего поля будет смещаться все электронное изображение, проецируемое на поверхность диафрагмы по горизонтали с частотой строк и по вертикали с частотой кадров. В результате через отверстие в диафрагме будут поочередно пролетать фотоэлектроны, эмиттируемые различными участками фотокатода, т. е. будет осуществляться развертка передаваемого изображения.

Фотоэлектроны, пролетавшие через отверстие в диафрагме, попадают в секцию ФЭУ, и с нагрузки коллектора (см. рис. 2.4) снимается усиленный сигнал изображения.

Достоинства диссектора:

простота, надежность, практически неограниченный срок службы (трубка не имеет накаливаемого катода);

безынерционность;

хорошая передача градаций яркости передаваемого изображения;

высокая разрешающая способность;

неискаженная передача средней яркости изображения (нет потери «постоянной составляющей» сигнала).

Однако, как и все системы мгновенного действия, диссектор обладает низкой чувствительностью, поэтому в первые годы развития телевидения он использовался только для передачи кинофильмов.

В настоящее время диссектор с большим успехом используется в различных системах прикладного телевидения там, где можно обеспечить достаточную освещенность передаваемого объекта. Подробные данные о типах отечественных диссекторов приведены в [1.14].

2.3. Датчики с оптико-механической и комбинированной разверткой

В системах вещательного телевидения и других широкополосных телевизионных системах используются преимущественно электронные системы развертки. Но в узкополосных (малокадровых) прикладных телевизионных системах с успехом применяются датчики с механической разверткой.

В качестве примера рассмотрим панорамную телевизионную систему (рис. 2.6), с помощью которой было передано изображение поверхности Луны (февраль 1966 г.).

Сканирующее устройство *1* (рис. 2.6*б*) установки «Луна-9» состоит из качающегося зеркала *3*, которое медленно вращается вокруг слегка наклонной оси *2*. Изображение лунного ландшафта, отраженное качающимся зеркалом *3*, проецируется объективом *4* на поверхность диафрагмы *5*, имеющей маленькое отверстие, размером в один элемент разложения (аналогично отверстию в диафрагме диссектора).

Профиль кулачка (эксцентрика) *7* обеспечивает линейное угловое перемещение (поворот) зеркала во время прямого хода по строке и быстрый возврат в исходное положение, что соответствует обратному ходу по строке (*8* — двига-

тель). Таким образом, в каждый момент времени через отверстие в диафрагме на фотокатод ФЭУ проецируется изображение одного элемента лунной поверхности, лежащего в направлении строчной развертки. Но так как зеркало медленно вращается вокруг слегка наклонной оси *2*, получается радиально-круговая развертка (аналогичная развертка применяется в радиолокаторах кругового обзора).

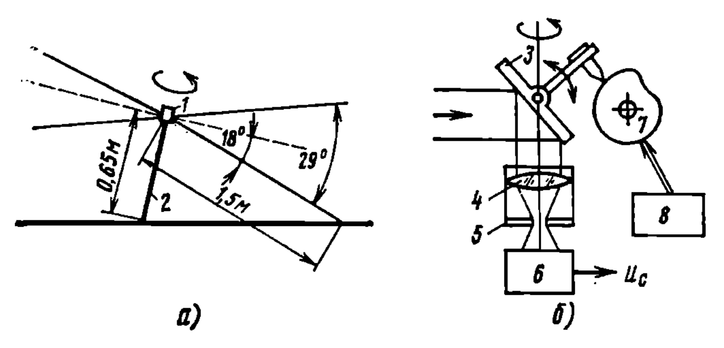


Рис. 2.6. Панорамная телевизионная система автоматической станции ЛУНА-9: *а* — схема обзора поверхности; *б* — схематическое устройство камеры (*1* — передающая камера, *2* — вращающаяся ось, *3* — качающееся зеркало, *4* — объектив, *5* — диафрагма, *6* — ФЭУ, *7* — кулачок, *8* — механизм вращения кулачка)

Период качания зеркала в вертикальной плоскости (период строки) составляет 1 с, а период вращения зеркала вокруг вертикальной оси (период кадра) составляет 100 мин. В результате растр содержит 6000 радиально расходящихся строк. Данная телевизионная система позволяет различать детали поверхности размером 1,5—2,0 мм с расстояния 1,5 м. Небольшой наклон вертикальной оси обеспечивает лучший обзор близлежащих участков лунной поверхности.

Нашли применение также датчики телевизионных сигналов с комбинированной разверткой — развертка по строкам электронная, а по кадрам — механическая.

В качестве примера рассмотрим бортовую фототелевизионную систему (рис. 2.7), впервые использованную для передачи на Землю изображения по-

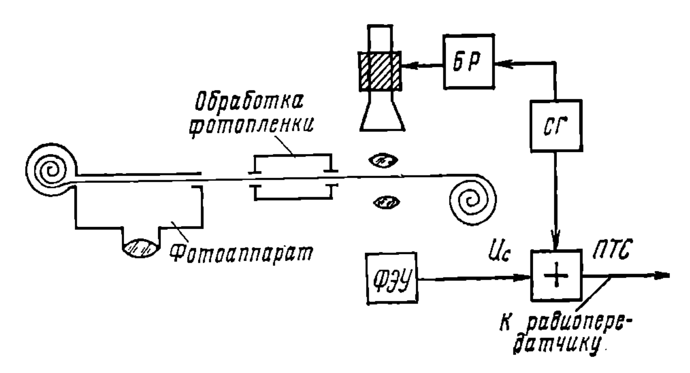


Рис. 2.7. Бортовая космическая фототелевизионная система

верхности Луны 4 октября 1959 г. Подобная система использовалась на отечественных космических станциях «Зонд-4», «Луна-12» и на американской станции LUNAR — ORBITER. Она содержит фотоаппарат, устройство для автоматической обработки пленки и телевизионный датчик с бегущим лучом. Фотопленка

с отснятыми кадрами после обработки протягивается между просвечивающим кинескопом и ФЭУ. Развертка на экране кинескопа однострочная (перпендикулярно движению пленки). Таким образом, развертка по строке электронная, по кадру механическая из-за равномерного протягивания фотопленки мимо экрана просвечивающего кинескопа.

2.4. Передающие телевизионные трубки с накоплением зарядов на основе внешнего фотоэффекта

Иконоскоп. Хотя иконоскоп в настоящее время уже не применяется, но знакомство с принципом его работы позволит лучше понять логику развития передающих телевизионных трубок. Изобретение иконоскопа явилось революционным скачком при переходе телевидения от механической развертки к электронной. По сравнению с диссектором иконоскоп обладает значительно более высокой чувствительностью и на его базе были созданы первые передающие камеры для ведения как студийных, так и внестудийных передач (при достаточной освещенности передаваемой сцены).

Иконоскоп представляет собой наглядную модель для изучения физических процессов, лежащих в основе принципа действия современных передающих трубок. Как видно из рис. 2.8, иконоскоп имеет стеклянную колбу с горловиной, в которой находится электронный прожектор. Основным элементом иконоскопа является фотомозаика, представляющая собой слюдяную пластинку, на лицевую поверхность которой напылены мельчайшие капельки (зерна) серебра, изолированные одна от другой. Тыльная сторона слюдяной пластины покрыта сплошным слоем серебра. Этот слой называется *сигнальной пластиной.*

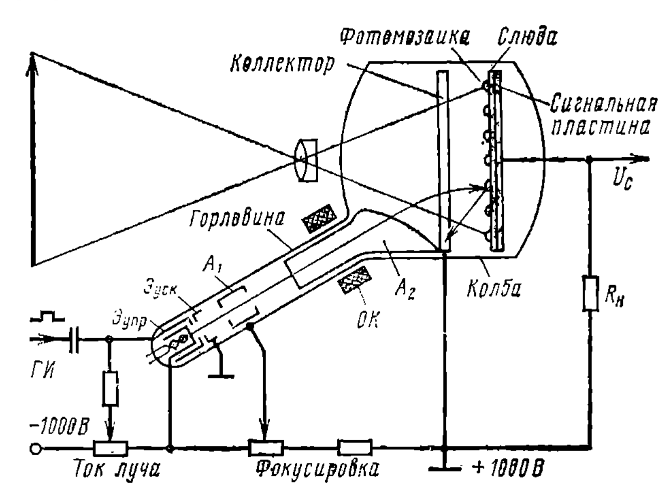


Рис. 2.8. Устройство иконоскопа (A_1—A_2 — первый и второй аноды, ГИ — гасящие импульсы)

Перед фотомозаикой установлено металлическое кольцо, играющее роль коллектора фотоэлектронов и вторичных электронов. По отношению к коллектору каждое зерно фотомозаики представляет собой микроскопический фотокатод, а по отношению к сигнальной пластине — обкладку микроскопического конденсатора. На горловину надеваются отклоняющие катушки (строчные и кадровые). Сопротивление нагрузки включается в цепь сигнальной пластины. Оптическое изображение передаваемого объекта проецируется на поверхность фотомозаики через стенку колбы.

Чтобы облегчить понимание сложных процессов, протекающих при работе иконоскопа, рассмотрим раздельно следующие три процесса:

коммутация электронным лучом неосвещенной фотомозаики;
образование потенциального рельефа на фотомозаике;
считывание потенциального рельефа, записанного на поверхности фотомозаики, и образование сигнала изображения.

В действительности все эти три процесса протекают одновременно. При отсутствии освещения электронный луч обегает поверхность фотомозаики и, попадая поочередно на все зерна, выбивает из них вторичные электроны, которые устремляются к коллектору. При этом зерна фотомозаики, скоммутированные электронным лучом, приобретают положительный потенциал и между мозаикой и коллектором возникает тормозящее электрическое поле, препятствующее дальнейшему перелету вторичных электронов с мозаики на коллектор.

Вторичные электроны, выбиваемые электронным лучом из фотомозаики (рис. 2.9*а*), можно разделить на три группы:

I группа — наиболее быстрые электроны, способные преодолеть тормозящее поле и достичь коллектора;

II группа — самые медленные электроны, не способные преодолеть тормозящее поле коллектора и подающие обратно на те зерна, с которых они вылетели;

III группа — электроны, не способные преодолеть тормозящее поле коллектора, но падающие на соседние зерна мозаики; вторичные электроны III группы, оседая на соседних зернах, создают как бы «электронный дождь», который непрерывно «моросит» над поверхностью мозаики и снижает потенциал ее зерен.

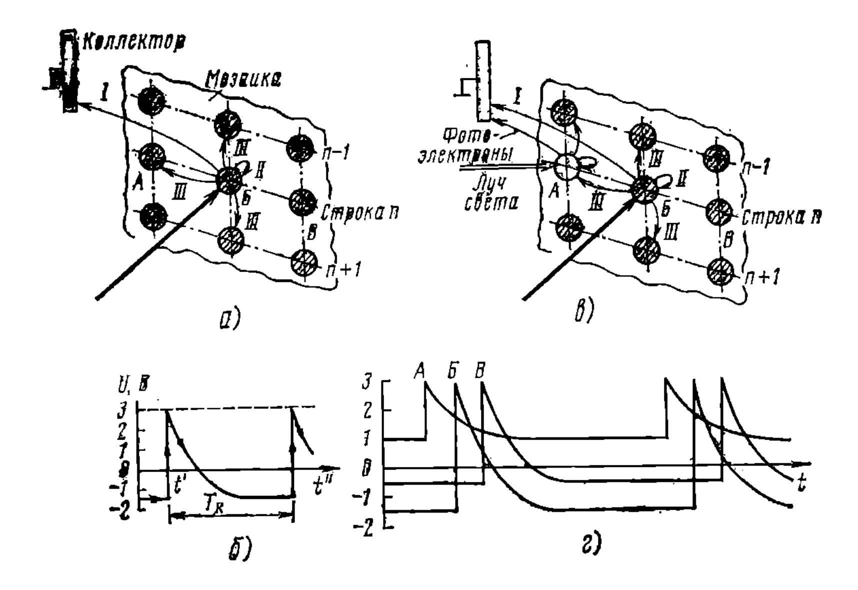


Рис. 2.9. Физические процессы в иконоскопе:
а — мозаика не освещена; *б* — график изменения потенциала зерна неосвещенной мозаики; *в* — мозаика частично освещена; *г* — график изменения потенциала зерен с различной освещенностью (*А* — ярко освещенное зерно, *Б* — неосвещенное зерно, *В* — зерно средней освещенности)

Опытным путем было установлено, что в момент коммутации зерно скачком приобретает потенциал, равный +3 В, а затем под действием электронного дождя этот потенциал снижается до значения —1,5 В (рис. 2.9*б*).

Когда на поверхность фотомозаики спроецировано оптическое изображение (рис. 2.9*в*), освещенные зерна мозаики начинают испускать фотоэлектроны. При этом чем ярче участок спроецированного изображения, тем больше фотоэлектронов вылетает с соответствующих зерен. Фотоэмиссия освещенной мозаики препятствует снижению потенциала освещенных зерен, потенциал наиболее

ярко освещенных зерен снижается только до +1 В, а потенциал зерен, имеющих промежуточную освещенность, — до значения в пределах от +1 до —1,5 В (рис. 2.9*г*).

При каждой последующей коммутации фотомозаики (через период кадра) потенциал каждого зерна снова скачком поднимается до значения +3 В. В результате на поверхности фотомозаики возникает так называемый *потенциальный рельеф* — наиболее светлым участкам оптического изображения соответствуют более высокие значения потенциалов (около +1 В, а наиболее темным — самые низкие — около —1,5 В). Одновременно с этим происходит заряд элементарных микроскопических конденсаторов, образованных зернами и сигнальной пластиной. Эти заряженные конденсаторы как бы запоминают (накапливают) оптическую информацию, содержащуюся в оптическом изображении, спроецированном на поверхность мозаики.

Для того чтобы преобразовать потенциальный рельеф на фотомозаике в сигнал изображения, необходимо поочередно «опросить» все зерна или как принято в телевидении «считать» потенциальный рельеф.

Процесс считывания осуществляется в моменты коммутации электронным лучом зерен мозаики. В моменты коммутации зерен происходит стирание потенциального рельефа (неосвещенное зерно имеет потенциал 3 В), так как потенциал всех коммутируемых зерен поочередно доводится до равновесного потенциала +3 В (рис. 2.10). Но при этом одновременно происходит процесс дозаряда (или перезаряда) элементарных конденсаторов (рис. 2.10). Токи дозаряда (перезаряда) протекают через сопротивление нагрузки и создают на нем сигнал изображения. Очевидно, что при коммутации слабо освещенного зерна токи перезаряда будут бо́льшими, чем при коммутации ярко освещенных зерен, и, следовательно, полярность сигнала на нагрузке иконоскопа будет отрицательной.

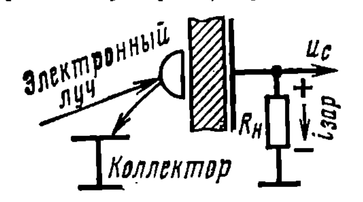


Рис. 2.10. Процесс образования сигнала изображения в иконоскопе в момент коммутации

Достоинствами иконоскопа являются высокая четкость передаваемых изображений, малое значение собственных шумов, хорошая передача градаций яркости, высокая стабильность сигнала, большой срок службы. Однако иконоскопу присущи серьезные недостатки: низкая чувствительность, трапецеидальные искажения растра, явление «черного пятна», большие габариты, неудобная форма баллона, невозможность использования светосильных короткофокусных объективов (из-за большого расстояния между передней стенкой баллона и фотомозаикой). Рассмотрим некоторые недостатки иконоскопа, так как они присущи и другим передающим телевизионным трубкам.

Трапецеидальные искажения растра возникают потому, что ось электронного прожектора направлена под углом к развертываемой поверхности (фотомозаики или мишени). Верхние строки удалены от центра отклонения на большее расстояние, чем нижние (рис. 2.11*а*), и при одинаковых угловых отклонениях луча в горизонтальном направлении (вдоль строк) верхние строки оказываются длиннее нижних — растр приобретает форму трапеции и верхние детали изображения оказываются растянутыми в горизонтальном направлении (рис. 2.11*б*).

Для компенсации трапецеидальных искажений растра (рис. 2.11*в*) ток в строчных отклоняющих катушках модулируют пилообразным напряжением кадровой развертки так (рис. 2.11*г*), что размер строк в процессе кадровой развертки постепенно увеличивается.

Явление «черного пятна» возникает вследствие неравномерного распределения электронов III группы по поверхности фотомозаики. Большинство их оседает на середине фотомозаики, и там образуется область с пониженным потенциальным рельефом, так называемая *потенциальная яма*. На экране кинескопа телевизора (видеоконтрольного устройства ВКУ) потенциальная яма видна в виде участка изображения пониженной яркости, так называемого *черного пятна*.

Черное пятно можно скомпенсировать либо оптическим, либо электрическим способом. Идея обоих способов сводится к созданию *белого пятна*, которое, на-

кладываясь на черное, устраняет затемнение части изображения на экране кинескопа. При оптической компенсации белое пятно создают вспомогательными электрическими лампочками, подсвечивающими ту часть поверхности фотомозаики, на которой образуется потенциальная яма. Однако форма и размеры по-

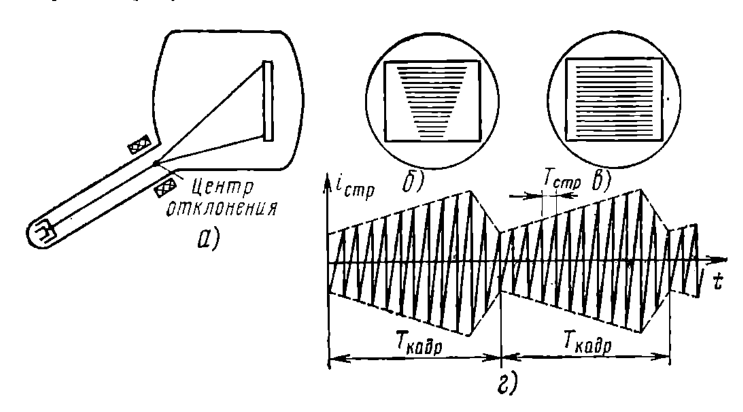


Рис. 2.11. Образование трапецеидальных искажений растра и их компенсация: *а* — схема отклонения луча в кинескопе; *б* — изображение растра на мозаике до компенсации; *в* — скорректированный растр; *г* — форма тока в строчных отклоняющих катушках

тенциальной ямы и ее расположение на поверхности фотомозаики в процессе передачи изменяются, так как зависят от характера передаваемой сцены (изображения) и оптическая компенсация не обеспечивает удобства регулировки — в процессе телепередачи перемещение подсвечивающих лампочек крайне затруднительно.

Более удобной является электрическая компенсация, при которой в специальном генераторе формируется напряжение, одинаковое с сигналом от потенциальной ямы, но имеющее обратную полярность; этот компенсирующий сигнал смешивается с сигналом изображения.

Сигнал компенсации черного пятна должен иметь довольно сложную форму и обычно формируется из нескольких составляющих: пилообразной, синусоидальной и параболической соответственно строчной и кадровой частоты. При этом компенсация черного пятна достигается регулировкой амплитуды и фазы перечисленных составляющих компенсирующего сигнала.

Супериконоскоп. Основным недостатком иконоскопа явилась его низкая чувствительность, требующая очень высокой освещенности передаваемого объекта (5000—10 000 лк), которую можно обеспечить только в студии, оборудованной мощными осветительными установками, или днем на открытой местности при ярком солнце. Это ограничивало возможность использования иконоскопа для телепередачи при низких освещенностях.

Оказалось, что чувствительность иконоскопа практически в 15—20 раз ниже теоретической. Объясняется это целым рядом факторов. Из-за влияния отрицательного пространственного заряда, создаваемого большим количеством вторичных электронов, и наличия тормозящего поля между мозаикой и коллектором только примерно пятая часть фотоэлектронов перелетает на коллектор. Кроме этого, вторичные электроны III группы, рассеиваясь по мозаике, сглаживают потенциальный рельеф, а дискретная структура фотомозаики приводит к тому, что значительная часть света освещает промежутки между зернами и не преобразуется в сигнал изображения.

Поиски ученых и инженеров были направлены на устранение причин, снижающих чувствительность иконоскопа.

В 1933 г. два советских ученых, П. В. Шмаков и П. В. Тимофеев, изобрели супериконоскоп или иконоскоп с переносом изображения (рис. 2.12), обладающий чувствительностью примерно на порядок выше, чем иконоскоп. Благодаря использованию принципа переноса электронного изображения оказалось воз-

можным использовать сплошной, а не мозаичный фотокатод и для образования потенциального рельефа применить отдельную от фотокатода пластину — диэлектрическую мишень.

Ускоренные фотоэлектроны, вылетающие из фотокатода, выбивают из поверхности мишени вторичные электроны и создают более глубокий потенциальный рельеф, чем кванты света в иконоскопе[1]. Мишень супериконоскопа можно мысленно разделить на отдельные элементы, поверхность которых, обращенная к фотокатоду, имеет различные потенциалы, однако растекания зарядов на поверхности мишени не происходит, так как она выполнена из диэлектрика.

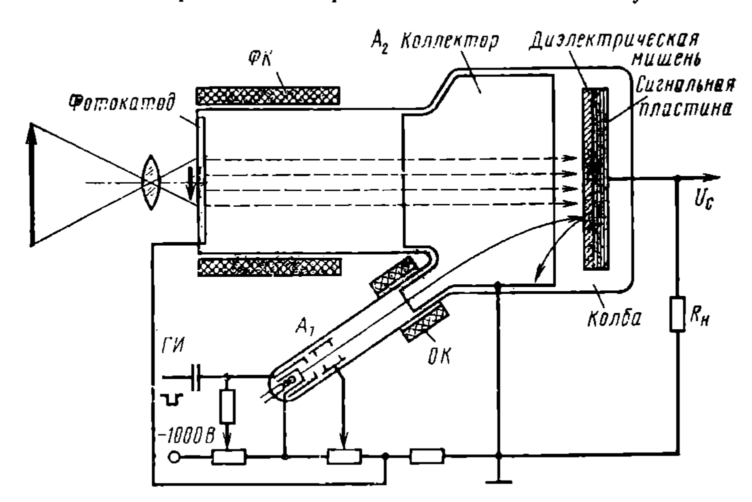


Рис. 2.12. Устройство супериконоскопа

Процесс образования сигнала изображения (считывания потенциального рельефа) аналогичен процессу в иконоскопе. Супериконоскопу так же, как и иконоскопу, присущи трапецеидальные искажения растра и явление черного пятна. Супериконоскоп получил широкое применение во всех странах как в телевизионном вещании, так и в прикладных телевизионных системах. По четкости изображения супериконоскоп уступает иконоскопу из-за расфокусировки электронного изображения в процессе переноса.

Суперортикон. Чувствительность супериконоскопа была недостаточной для ведения внестудийных телевизионных передач при низких уровнях освещенности, и дальнейшие поиски ученых и инженеров были направлены на устранение этого недостатка. В сороковых годах в США появилась принципиально новая передающая телевизионная трубка суперортикон.

Суперортикон (рис. 2.13) имеет цилиндрическую колбу ступенчатой формы. В широкой части колбы размещается секция переноса электронного изображения. В противоположном конце узкой части колбы смонтирован электронный прожектор, составляющий вместе со вторично-электронным умножителем общий конструктивный узел. Между секцией переноса и секцией электронного умножителя размещается секция коммутации и развертки.

Первой особенностью является наличие двусторонней мишени, предложенной советским ученым Г. В. Брауде в 1938 г. Использование двусторонней мишени позволило отказаться от бокового отростка колбы с электронным прожектором и разместить последний на продольной оси колбы в противоположной стороне от фотокатода, что позволило устранить трапецеидальные искажения.

Второй особенностью суперортикона является развертка потенциального рельефа на мишени пучком не ускоренных, а замедленных электронов, благодаря чему значительно ослабляется явление «черного пятна».

---

[1] Такой метод повышения чувствительности передающей трубки называется *докоммутационным* усилением.

На колбу суперортикона надеваются отклоняющая система из двух пар отклоняющих катушек, длинная фокусирующая и короткая корректирующая катушки. Корректирующая катушка служит для электронной юстировки — совмещения неотклоненного электронного луча с осью фокусирующей системы (в про-

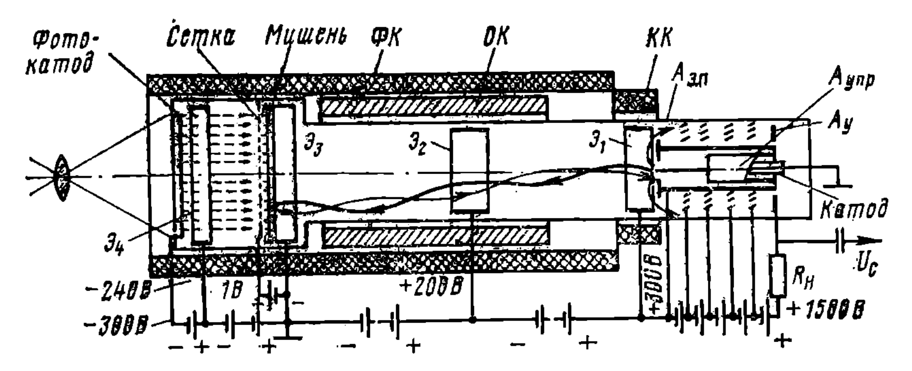


Рис. 2.13. Устройство суперортикона (*ФК*, *ОК*, *КК* — фокусирующая, отклоняющая и корректирующая катушки; $A_{э.п}$ и $A_у$ — аноды электронного прожектора (коллектор) и умножителя (сигнальный электрод); $Э_1$—$Э_4$ — электроды)

цессе сборки трубки прожектор может быть приварен не точно). Юстировка достигается изменением тока в корректирующей катушке и наклоном ее относительно оси трубки.

Работа секции переноса электронного изображения суперортикона аналогична процессам в суперконоскопе. Отличие состоит в том, что перед мишенью суперортикона, на расстоянии примерно 50 мкм, установлена мелкоструктурная металлическая сетка, имеющая до нескольких сотен отверстий на один квадратный миллиметр, на которую подается положительный потенциал около 1 В. Ускоренные фотоэлектроны, ударяясь о поверхность мишени, выбивают вторичные электроны. Они улавливаются мелкоструктурной сеткой, которая расположена очень близко к мишени и поэтому не дает электронам рассеиваться — потенциальный рельеф получается значительно более глубоким, чем в иконоскопе.

Мишень суперортикона представляет собой очень тонкую (около 5 мкм) пленку из особого стекла. Благодаря электростатической индукции в мишени возникают поперечные токи смещения (часть отрицательных зарядов с тыльной стороны мишени смещается в сторону лицевой стороны). При этом на тыльной стороне мишени также образуется положительный потенциальный рельеф.

Теперь рассмотрим процесс считывания потенциального рельефа. Электроны, эмиттируемые катодом прожектора (рис. 2.14*а*), разгоняются полем анода (коллектора) прожектора и, пролетев через узкое отверстие коллектора, попадают в тормозящее поле, образованное системой электродов $Э_1$, $Э_2$ и $Э_3$ (см. рис. 2.13). Тормозящее поле подбирается с таким расчетом, чтобы электроны останавливались у самой мишени (рис. 2.14*б*).

Если фотокатод трубки не освещен и на мишени потенциального рельефа нет, то все электроны, подлетев к мишени, начинают движение обратно, т. е. к прожектору, при этом электроды $Э_3$, $Э_2$, $Э_1$ создают уже ускоряющее поле. Число электронов, отраженных от мишени, равно числу электронов, вылетевших из прожектора (см. рис. 2.14*а*). Иная картина получается, когда фотокатод освещен. При этом на лицевой и тыльной сторонах мишени возникает положительный потенциальный рельеф, который соответствует распределению яркости на деталях передаваемого объекта. Когда пучок электронов в процессе развертки проходит вблизи участков мишени, имеющих положительный потенциал, часть электронов из пучка оседает на мишени, нейтрализуя ее положительный заряд (см. рис. 2.14*б*). При этом интенсивность пучка отраженных электронов оказывается промодулированной потенциальным рельефом мишени в негативной полярности (чем ярче участок изображения, тем выше положительный потенциал

соответствующего участка мишени, а следовательно, тем больше электронов перейдет на мишень и меньше электронов будет в отраженном пучке). Промодулированный по току отраженный пучок электронов и является сигналом, полученным в результате развертки потенциального рельефа мишени.

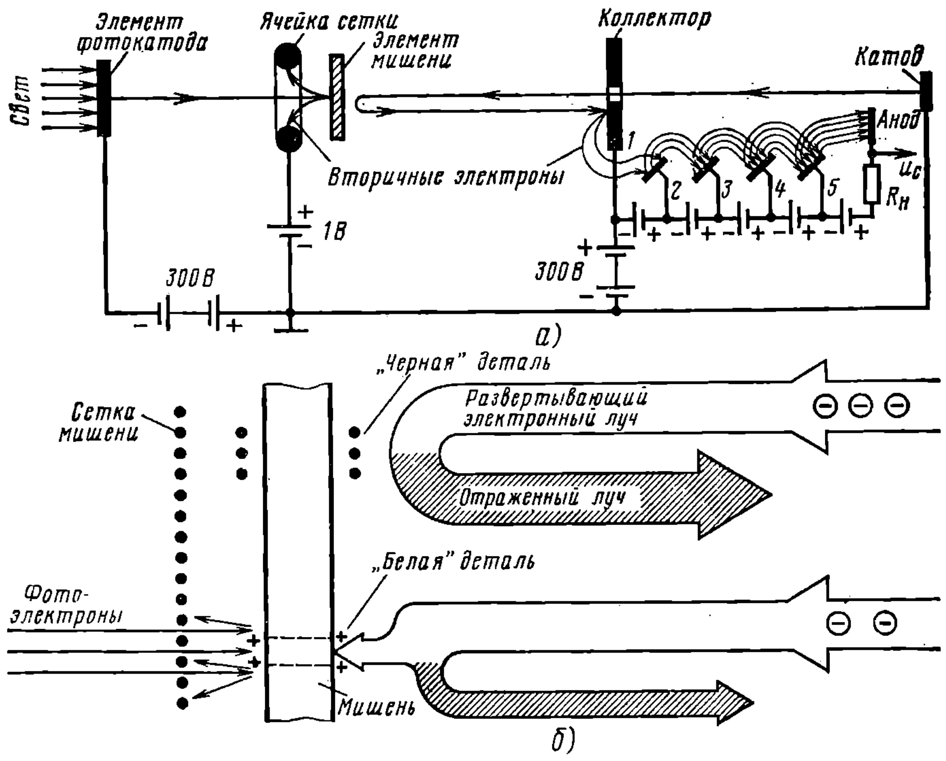


Рис. 2.14. Процесс образования сигнала изображения в суперортиконе: *а* — схема движения электронов; *б* — процесс считывания потенциального рельефа

Отраженный поток электронов под действием ускоряющего поля электродов $Э_3$, $Э_2$, $Э_1$ (см. рис. 2.13) падает на анод прожектора и выбивает из него вторичные электроны, анод прожектора при этом играет роль первого эмиттера (динода) вторично-электронного усилителя (ВЭУ). Вторичные электроны, выбитые из анода прожектора (см. рис. 2.14*а*), под действием ускоряющего поля огибают прожектор и попадают на жалюзи второго динода ВЭУ.

Пятикаскадный ВЭУ дает общий коэффициент усиления по току примерно 1000 (при очень низком уровне внутренних шумов). Использование ВЭУ позволяет поднять уровень выходного сигнала суперортикона выше уровня шумов первого каскада предварительного усилителя сигнала изображения передающей камеры и тем самым дает возможность вести передачу при очень низких освещенностях.

Нагрузка, с которой снимается сигнал изображения, включается в цепь коллектора. Падение напряжения на сопротивлении нагрузки прямо пропорционально току отраженного и усиленного в ВЭУ луча электронов. При коммутации участков мишени с более высоким положительным потенциалом, что соответствует ярче освещенным участкам фотокатода, ток отраженного пучка уменьшается и, следовательно, падение напряжения на сопротивлении нагрузки падает, а потенциал верхнего контакта резистора повышается. Таким образом, суперортикон создает сигнал изображения положительной полярности.

Рассмотрим кратко особенности фокусировки и отклонения пучка медленных электронов. Как было показано в § 2.3 (см. рис. 2.5), траектория электронов в продольном магнитном поле представляет собой спираль, периодически пересекающуюся с магнитной силовой линией.

При малой скорости движения электрона и большой напряженности продольного магнитного поля H, шаг спирали S уменьшается и электроны совершают вокруг магнитной силовой линии несколько спиралевидных витков. Магнитные силовые линии играют роль своеобразных направляющих, вдоль которых двигаются медленные электроны. Напряженность тормозящего электрического поля в секции коммутации и развертки потенциального рельефа и напряженность магнитного поля H, создаваемого длинной фокусирующей катушкой, подбираются так, чтобы между анодом прожектора и мишенью укладывалось целое число витков спирали (обычно три витка).

Как видно из рис. 2.15, в зоне взаимодействия магнитного поля отклоняющих катушек происходит искривление магнитных силовых линий продольного поля. При выходе из зоны действия отклоняющих катушек силовые линии продольного магнитного поля вновь становятся параллельными оси трубки и перпендикулярными к плоскости мишени. Поэтому замедленные электроны, закручиваясь вокруг магнитных силовых линий продольного магнитного поля, подлетают к мишени в любой ее точке перпендикулярно.

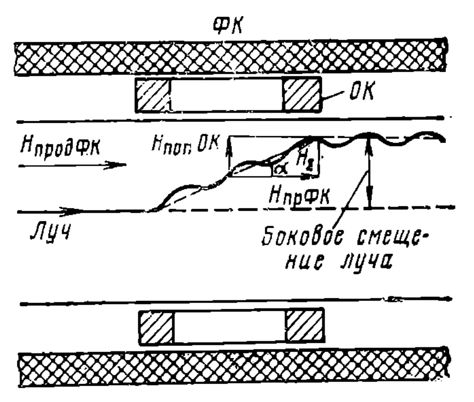


Рис. 2.15. Отклонение электронного луча поперечным магнитным полем в присутствии продольного магнитного поля

Следует обратить внимание и на ту особенность, что замедленные электроны отклоняются в направлении магнитных силовых линий отклоняющего поля, а не перпендикулярно им, как быстрые электроны.

Достоинствами суперортикона являются очень высокая чувствительность, отсутствие трапецеидальных искажений растра, слабо выраженное явление черного пятна и высокий уровень сигнала на нагрузке.

Недостатками суперортикона являются сложность конструкции, высокая стоимость, ограниченный срок службы, сложность регулировки режима трубки (свыше 15 различных регулировок), более высокий уровень собственных шумов (по сравнению с иконоскопами), что объясняется флуктуацией отраженного пучка электронов при развертке рельефа.

Путем некоторого усложнения рассмотренной конструкции суперортикона (добавление второй мелкоструктурной сетки и секции считывания переработка узла мишени и др.) удалось значительно повысить чувствительность трубки при одновременном снижении уровня собственных шумов.

Следует отметить, что чувствительность специальных моделей современных суперортиконов превышает чувствительность человеческого глаза. Эти модели могут работать ночью при свете звездного неба.

Суперизокон. Одним из основных недостатков суперортикона является сравнительное низкое отношение сигнал/шум. Источниками шумов в суперортиконе являются три процесса: образование потенциального рельефа, считывание и усиление тока сигнала. Однако основную роль в снижении отношения сигнал/шум играет процесс считывания.

Как следует из описания работы суперортикона, ток отраженного пучка электронов при коммутации участков мишени с низким потенциалом соответствующих темным участкам изображения больше, чем при коммутации участков мишени с высоким потенциалом, соответствующих ярким участкам изображения. Поэтому уровень флуктуации выходного сигнала изображения будет выше на темных участках изображения, т. е. там, где шумы наиболее заметны.

Чтобы устранить отмеченный недостаток в суперизоконе, изменен процесс

модуляции считывающего луча путем использования неоднородности отраженного пучка электронов.

Отраженный поток электронов, возвращающийся к коллектору, состоит из двух составляющих:

потока электронов, не дошедших до мишени или дошедших, но отраженных вследствие низкого потенциала участка мишени;

потока электронов, дошедших до мишени и вступивших во взаимодействие с ней.

Электроны первой составляющей потока возвращаются почти точно по той же траектории, по которой они подлетали к мишени. Электроны второй составляющей в результате столкновения с мишенью рассеиваются и возвращаются от нее по траектории, несколько отличающейся от той, по которой они подлетали к мишени.

Отличие конструкции суперизокона от суперортикона состоит в несколько ином расположении первого динода, который располагается таким образом, что улавливает только рассеянные электроны (рис. 2.16). В суперизоконе ток сиг-

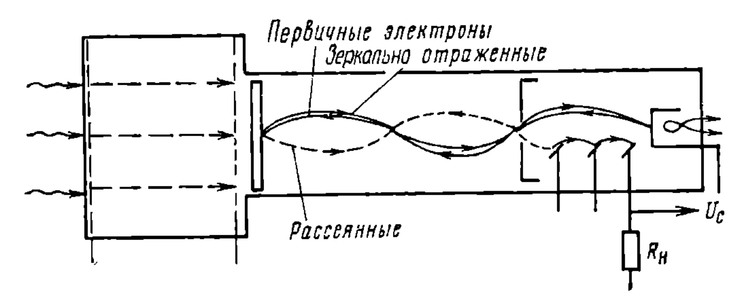


Рис. 2.16. Схематическое устройство суперизокона

нала создается потоком рассеянных электронов, число которых прямо пропорционально потенциалу мишени. Очевидно, что суперизокон создает сигнал изображения отрицательной полярности.

В суперизоконе отношение сигнал/шум для темных участков примерно в 4 раза выше чем в суперортиконе. Однако суперизокон требует очень точной настройки и критичен в работе.

2.5. Передающие телевизионные трубки с накоплением зарядов на основе внутреннего фотоэффекта в фотопроводящих мишенях. Видиконы

Повышение чувствительности передающих трубок, работающих по принципу использования внешнего фотоэффекта (суперортикон, суперизокон), достигалось дорогой ценой — путем усложнения конструкции, их настройки и регулировки в процессе эксплуатации.

Для прикладных целей в первую очередь требовались более простые по конструкции, малогабаритные и простые в эксплуатации телевизионные передающие трубки.

Еще в 1925 г. академик А. А. Чернышев предложил использовать в передающих телевизионных трубках не внешний, а внутренний фотоэффект. Дело в том, что квантовый выход, т. е. отношение числа фотоэлектронов к числу падающих квантов света, при внутреннем фотоэффекте значительно выше, чем при внешнем. Это объясняется тем, что при внешнем фотоэффекте выбитые квантами света фотоэлектроны должны совершить «работу выхода», чтобы покинуть свою среду, т. е. иметь значительный запас энергии. При внутреннем фотоэффекте фотоэлектроны работу выхода не совершают — они только отрываются от своих атомов и остаются в пределах фотопроводника, а на это требуется значительно меньше энергии.

Таким образом, передающие трубки с использованием внутреннего фотоэффекта обещали быть значительно более чувствительными. Но в ту пору физика полупроводников была исследована еще недостаточно, да и технология изготовления полупроводников с заданными и стабильными параметрами разработана еще не была.

Только спустя 25 лет, благодаря успехам в области физики и техники полупроводниковых материалов, в чем немалая заслуга школы академика А. И. Иоффе, идея академика А. А. Чернышева была осуществлена — появилась первая телевизионная передающая трубка с внутренним фотоэффектом — видикон. Эта трубка отличается простотой, малыми габаритами довольно высокой чувствительностью, простой настройкой.

Основным элементом видикона (рис. 2.17*а*) является полупроводниковая мишень (рис. 2.17*б*), нанесенная на внутреннюю поверхность передней стенки стеклянного баллона поверх полупрозрачной металлической пленки, играющей роль сигнальной пластины. В противоположном конце цилиндрического баллона

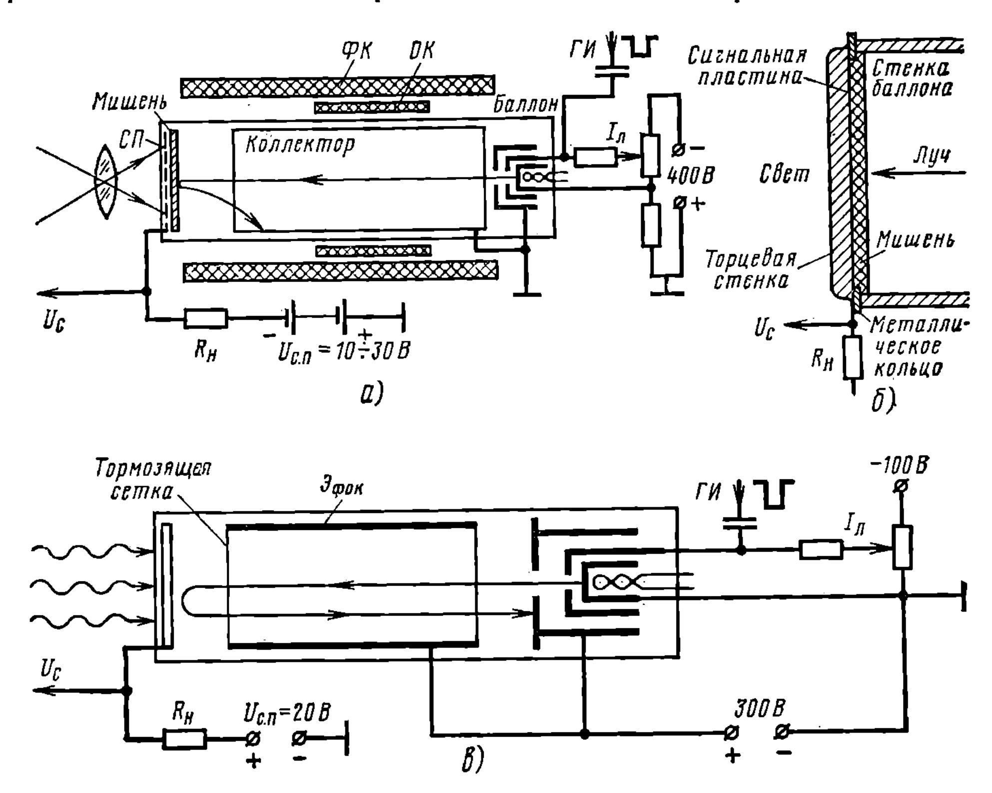


Рис. 2.17. Устройство видикона:
а — схема включения в режиме $\sigma>1$; *б* — устройство мишени; *в* — схема включения в режиме $\sigma<1$

монтируется электронный прожектор. Анод прожектора соединяется с цилиндрическим фокусирующим электродом, который может быть выполнен в виде металлизированного покрытия на внутренней поверхности баллона или в виде металлического цилиндра. В первых образцах видиконов отклонение и фокусировка развертывающего луча осуществлялись с помощью катушек.

Видикон может работать в двух режимах развертки: медленными ($\sigma<1$) или с быстрыми ($\sigma>1$) электронами. У видикона с разверткой быстрыми электронами часто устанавливается дополнительный электрод — тормозящая сетка. Фокусирующий электрод (второй анод) может иметь отдельный вывод. Сопро-

тивление нагрузки включается в цепь сигнальной пластины последовательно с источником напряжения. Полярность этого источника напряжения и полярность других напряжений на электродах видикона зависит от режима его работы.

Большее распространение получили видиконы, работающие в режиме развертки медленными электронами (рис. 2.17*в*). Процесс образования сигнала изображения проиллюстрирован на рис. 2.18. Допустим, что в начальный момент

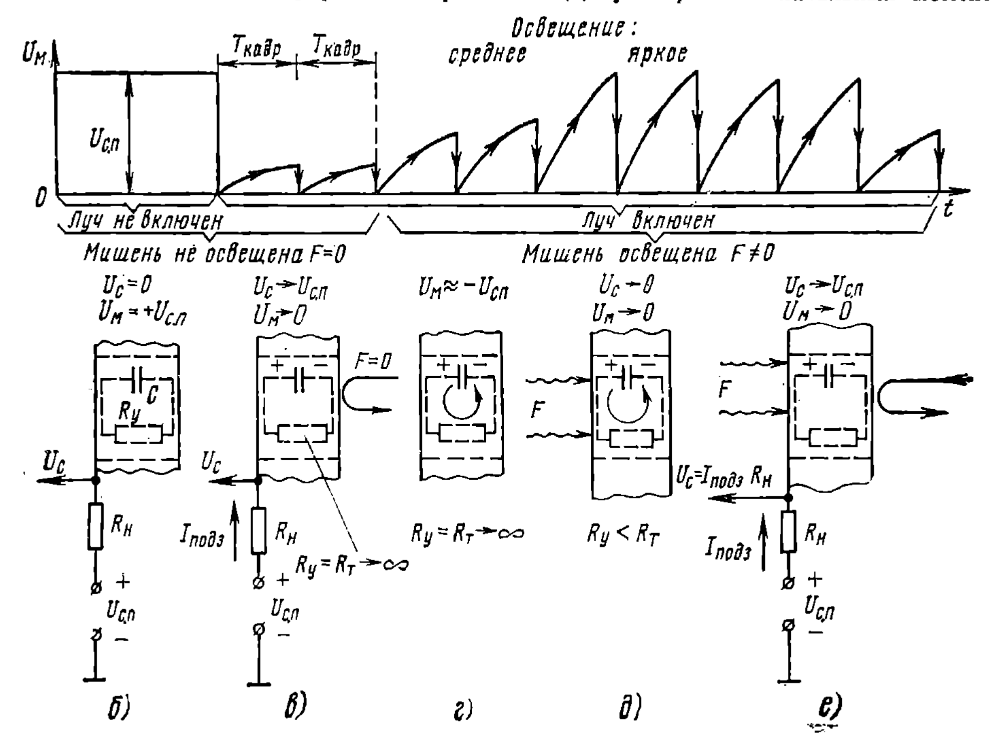


Рис. 2.18. Процесс образования сигнала в видиконе в режиме (развертка медленными электронами):

а — график изменения потенциала мишени видикона при различных режимах освещенности; *б* — элемент мишени при отсутствии света и выключенном луче; *в* — момент коммутации элемента неосвещенной мишени; *г* — саморазряд элементарной емкости на освещенной мишени в интервалах между коммутациями; *д* — саморазряд элементарной емкости освещенной мишени; *е* — процесс образования сигнала в момент коммутации участка освещенной мишени

изображения нет (мишень не освещена) и электронный луч выключен. Из-за темновой проводимости поверхность мишени, обращенная к прожектору, приобретает потенциал $+U_{с.п}$.

При включении луча и наличии развертки пучок замедленных электронов обегает положительно заряженную поверхность мишени и, отдавая ей часть своих электронов, нейтрализует (стирает) этот положительный заряд, доводя поочередно потенциал элементов поверхности до потенциала катода, т. е. до нуля.

В результате мишень начинает играть роль конденсатора, заряженного до напряжения $U_{с.п}$ (левая обкладка), т. е. сигнальная пластина через сопротивление $R_н$ подключена к плюсовому выводу источника $U_{с.п}$, а правая обкладка, т. е. поверхность мишени, обращенная к прожектору, — к минусовому (заземленному выводу) $U_{с.п}$. Разобьем мысленно всю поверхность мишени на элементарные участки, представляющие собой микроскопические конденсаторы, каждый из которых заряжен до напряжения $U_{с.п}$.

Каждый такой микроскопический конденсатор C оказывается шунтированным сопротивлением утечки $R_у$, т. е. темновым сопротивлением участка. В интервалах между повторяющимися процессами коммутации (т. е. через время передачи каждого кадра) элементарные конденсаторы будут немного разряжаться (через темновое сопротивление участка).

Осветим мишень (спроецируем на нее изображение). При этом проводимость освещенных участков мишени резко возрастет, разряд элементарных конденсаторов сделается более глубоким и на поверхности мишени появится потенциальный рельеф. При каждой повторной коммутации будет происходить подзаряд элементарных конденсаторов до напряжения $U_{с.п}$. Токи подзаряда, протекая через сопротивление нагрузки, будут создавать импульсы сигнала изображения. Так как амплитуда импульсов пропорциональна освещенности участков мишени, то полярность сигнала на сопротивлении нагрузки видикона будет негативная (отрицательная).

Достоинства видикона следующие:

простота конструкции, малые габариты (стандартные видиконы имеют диаметр колбы 25 мм);

простота эксплуатации: имеются только три ручки управления (ТОК ЛУЧА, ФОКУСИРОВКА ЛУЧА, НАПРЯЖЕНИЕ СИГНАЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ);

достаточно высокая чувствительность.

Основным недостатком является его инерционность, ограничивающая возможности использования видикона для передачи изображения быстро движущихся объектов (на экране телевизора возникает тянущийся след быстро движущихся предметов, снижается четкость и контрастность изображения). Инерционность видикона имеет двоякую природу — фотопроводниковую и коммутационную.

Фотопроводниковая инерционность объясняется тем, что процесс образования тока проводимости из-за наличия фотоэлектронов в полупроводнике отстает от изменения освещенности. Фотопроводниковая (фотоэлектрическая) инерционность видикона наиболее сильно проявляется при низких освещенностях, а при больших освещенностях она заметно снижается.

Коммутационная инерционность видикона объясняется тем, что из-за высокой диэлектрической проницаемости материала мишени ($\varepsilon=6\div10$) и очень малой толщины пленки (единицы микрометра) удельная емкость мишени составляет около 0,1 пФ на один элемент разложения. При такой значительной емкости электронный развертывающий луч за время одной коммутации не успевает дозарядить элементарные конденсаторы. Если к следующему моменту коммутации данный элемент мишени еще не освещен (произошло движение объекта передачи), то все равно произойдет повторный дозаряд элементарного конденсатора и с нагрузки будет снят ложный импульс сигнала изображения.

На первый взгляд, казалось бы, надо снизить удельную емкость мишени увеличением ее толщины, что должно позволить электронному лучу успевать дозарядить элементарные конденсаторы. Но это не так. При большой толщине мишени луч света будет поглощаться, не дойдя до ее тыльной стороны (обращенной к прожектору). При этом оставшийся непросвеченный слой мишени будет играть роль балластного сопротивления, что будет снижать светочувствительность мишени.

Остается попытаться изменить удельное сопротивление материала мишени. Если это сопротивление понизить, то постоянная времени разряда элементарных конденсаторов также понизится, разряд элементарных конденсаторов будет более глубоким и электронный луч опять не будет успевать дозарядить элементарные конденсаторы. Если удельное сопротивление материала мишени повысить, то разряд элементарных конденсаторов и потенциальный рельеф на мишени будут менее глубокими, амплитуда сигнала изображения на нагрузке снизится. Следовательно, существует оптимальное удельное сопротивление для материала мишени видикона, которое обычно лежит в пределах 10^{-11}—10^{-13} Ом/см.

Видиконы с разверткой быстрыми электронами обеспечивают более высокую четкость, менее инерционны, чем видиконы с разверткой медленными электронами, но в них наблюдается явление «черного пятна» и они обладают более коротким сроком службы (из-за прожега мишени) и менее чувствительны.

Видиконы, выпускаемые в различных странах, имеют различные наименования: статиконы, резистроны, люминоконы.

Для улучшения параметров видикона были проведены широкие исследования по подбору наилучших материалов для мишени, а также по созданию сложных мишеней.

Мишени первых видиконов изготавливались из селена и стибнита (трехсернистая сурьма). В современных видиконах наибольшее применение находит пористый стибнит, обладающий по сравнению с гладким стибнитом более высоким удельным сопротивлением (на полтора-два порядка) и меньшей диэлектрической постоянной (примерно на один порядок). Кроме того, пористый стибнит меньше поглощает свет и, следовательно, мишень можно делать толще. В результате удельная емкость (на единицу элемента разложения) у мишеней из пористого стибнита оказывается значительно меньше, чем у видикона с гладкой мишенью, и инерционность значительно снижается.

Разработаны также сложные мишени, например пористо-гладкие, содержащие кроме пористого слоя стибнита еще стибнитовую гладкую прослойку.

Передающие камеры на видиконах по сравнению с камерами, на ранее рассмотренных на трубках, имеют значительно меньшие габариты, проще в управлении, меньше потребляют энергии, что позволяет значительно расширить область применения телевизионных систем.

Первые видиконы имели магнитное управление лучом: и отклонение, и фокусировка осуществлялись с помощью катушек (видиконы вида НН). Однако значительные, по сравнению с самой трубкой, габариты фокусирующей и отклоняющей систем (ФОС) затрудняли миниатюризацию видиконной передающей камеры. Кроме того, ФОС потребляла значительную мощность.

В начале шестидесятых годов появились видиконы с электростатическим управлением (ЕЕ). Электростатические видиконы не требуют наружных систем для отклонения и фокусировки потребляют значительно меньше энергии и, так как питание всех электродов можно осуществлять от общего стабилизированного источника питания, работают более стабильно, чем видиконы НН. Видиконы ЕЕ уступают видиконам НН по четкости изображения.

Более удачными оказались видиконы со смешанным управлением: ЕН (фокусировка электростатическая, отклонение магнитное) и НЕ (фокусировка магнитная, отклонение электростатическое).

Существенным достоинством видиконов НЕ является возможность работы в устройствах с любым законом развертки. У видиконов НН и ЕН индуктивность отклоняющих катушек препятствует быстрому перемещению луча.

2.6. Передающие телевизионные трубки с накоплением зарядов и с фотодиодными мишенями

Фотодиод так же, как и фоторезистор, является приемником лучистой энергии. Но в отличие от фоторезистора в фотодиоде (рис. 2.19*а*) имеется *n*-*p*-переход, образованный тонкой полупрозрачной пленкой с электронной проводимостью (*n*-область) и пластиной с дырочной проводимостью (*p*-область).

Пленка с проводимостью *n* и пластина с проводимостью *p* имеют невыпрямляющие контакты (в виде полупрозрачной пленки серебра), которые являются внешними выводами прибора.

При освещении фотодиода кванты света, проникая в толщу пленки *n* и слоя *p*, возбуждают атомы полупроводника и генерируют пары электрон — дырка. Возбужденные носители диффундируют к *n*-*p*-переходу и разделяются его электрическим полем. При этом в *n*-области накапливаются избыточные электроны, а в *p*-области — избыточные дырки. В результате обе области получают дополнительные заряды: *n*-область становится более отрицательной, а *p*-область — более положительной. Между контактами фотодиода возникает фото-ЭДС. Происходит прямое преобразование энергии светового излучения в энергию электрического тока.

В зависимости от конструкции и технологии получения различают два типа переходов:

гомогенные переходы или гомопереходы, образованные внутри монокристалла;

гетерогенные переходы или гетеропереходы, образованные на стыке двух различных полупроводников (например, методом наращивания).

Следует добавить, что КПД фотодиодов с гетеропереходом в 2 раза выше, чем у фотодиода с гомогенным переходом.

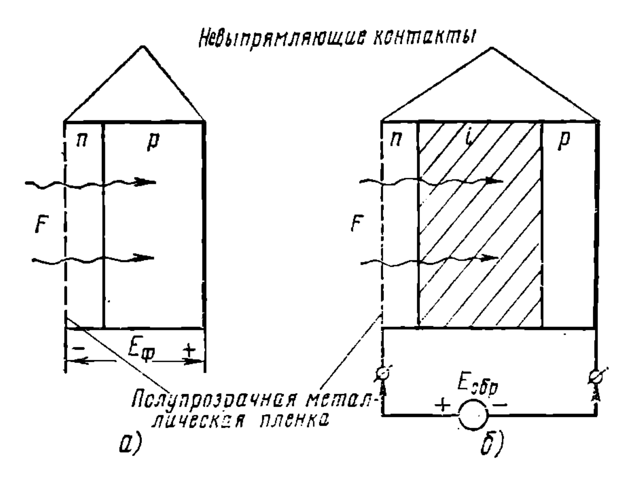


Рис. 2.19. Фотодиоды:
а — фотодиод структуры *n-p*; *б* — фотодиод структуры *pin*

В настоящее время широкое применение получили фотодиоды с *pin*-структурой (рис. 2.19*б*), в которых между двумя тонкими слоями *n* и *p* имеется высокоомный обедненный носителями слой *i* с собственной проводимостью.

Наиболее эффективным режимом такой структуры является работа при обратном смещении, когда практически все напряжение внешнего источника оказывается приложенным к слою *i*.

При этом генерируемые под действием света носители тока в слое *i* благодаря низкой концентрации ловушек[1] в этой зоне и высокой напряженности электрического поля проходят всю зону *i* не рекомбинируясь, что повышает критическую частоту *pin*-структуры.

Одновременно с этим снижается постоянная времени фотодиода, который при обратном смещении аналогичен *RC*-цепи. Благодаря значительной ширине слоя *i* фотодиоды с *pin*-структурой обладают значительно меньшей емкостью, чем *pin*-фотодиоды, и служат основным типом высокочастотных фотодиодов. Достаточно подробно теория фотодиодов рассмотрена в [2.2, 2.11].

Первой передающей телевизионной трубкой с фотодиодной мишенью явился *плюмбикон*, разработанный голландской фирмой «Philips» специально для цветного телевидения. По конструкции плюмбикон аналогичен видикону и работает в режиме развертки медленными электронами. Основной особенностью плюмбикона (рис. 2.20*а*) является его мишень, имеющая *pin*-структуру [1.7]. Толщина слоя *i* составляет 10—15 мкм и значительно превышает толщину слоев *p* и *n*. Слой *p*, обращенный к развертывающему лучу, выполняется достаточно тонким для того, чтобы исключить растекание зарядов по поверхности мишени. Слой *i* выполняется из окиси свинца и имеет упорядоченную кристаллическую структуру в виде иголок размером 0,1×0,1×1 мкм, ориентированных перпендикулярно поверхности мишени.

Процесс работы плюмбикона сводится к следующему. Электронный развертывающий луч, обегая поверхность мишени (слой *p*), доводит ее потенциал до потенциала катода (режим медленных электронов $\sigma<1$). При этом к слою *n* оказывается приложенным потенциал $+U_{с.п}$, а к слою *n* нулевой потенциал ка-

[1] Ловушка — примесный атом, захватывающий электроны или дырки.

тода (см. рис. 2.20*а*). В результате *pin*-структура мишени плюмбикона оказывается включенной в обратном направлении, что дополнительно увеличивает темновое сопротивление мишени.

При проецировании на мишень плюмбикона оптического изображения (со стороны слоя *n*) все генерируемые в слое *i* носители тока благодаря высокой напряженности электрического поля и малой концентрации ловушек проходят слой *i* не рекомбинируясь и вызывают разряд элементарных конденсаторов.

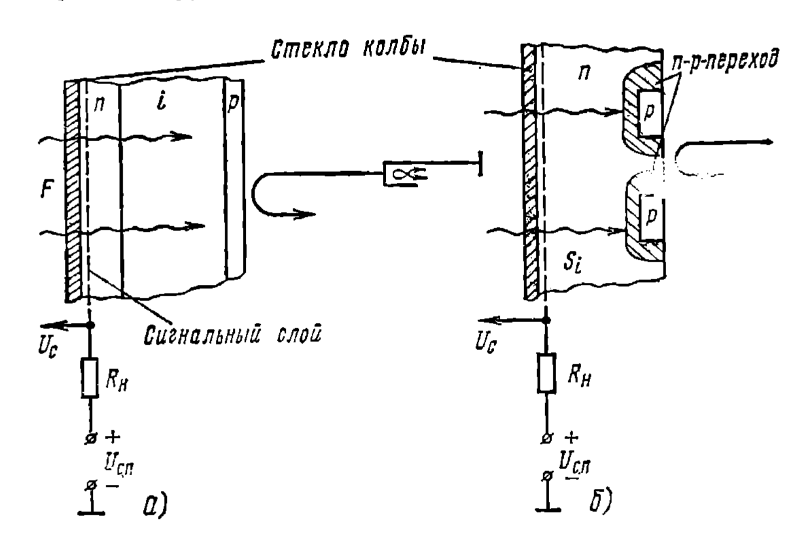


Рис. 2.20. Фотодиодные мишени телевизионных передающих трубок:
а — мишень плюмбикона; *б* — мишень кремникона

В результате на поверхности слоя *p* образуется потенциальный рельеф. При считывании потенциального рельефа происходит дозаряд элементарных конденсаторов до напряжения $U_{с.п}$ и через сопротивление нагрузки протекают токи сигнала изображения.

Значительная толщина мишени плюмбикона (в 2—3 раза больше, чем у обычных видиконов) снижает емкость мишени и обеспечивает тем самым низкую коммутационную инерционность плюмбикона.

Главными достоинствами плюмбикона являются достаточно высокая чувствительность, низкая инерционность, линейность световой характеристики в видимом участке оптического диапазона, что очень важно для цветного телевидения.

Передающая телевизионная трубка *кремникон* имеет мозаичную структуру мишени (рис. 2.20*б*). Основу мишени кремникона составляет кремниевый диск с *n*-проводимостью. При помощи планарно-диффузионной технологии на поверхности, обращенной к развертывающему лучу, формируется мозаика из дискретных (отдельных один от другого) участков с проводимостью *p*, образующих с монокристаллом мозаику фотодиодов. Мозаичная структура мишени кремникона исключает возможность растекания зарядов.

В настоящее время получают распространение трубки суперкремникон [1] — кремникон с секцией электронного переноса.

Примером передающей телевизионной трубки с гетеропереходом является *халникон*[2] (*кадмикон*), имеющий трехслойную мишень:

---

[1] Приставка к названию трубки «супер» по установившейся терминологии означает наличие секции переноса электронного изображения.

[2] Название «халникон» происходит от слова «хальгогенид», а название «кадмикон» от слова «кадмий».

основной фоточувствительный слой CdSe (толщиной около 2 мкм);
диэлектрическая прослойка $CdSeO_3$ (толщиной около 0,15 мкм), усиливающая выпрямительные свойства гетероперехода;
аморфный слой As_2S_3 (толщиной около 0,4 мкм).

2.7. Телевизионные передающие трубки с накоплением зарядов с совместным использованием внешнего фотоэффекта и наведенной проводимости

Сущность наведенной проводимости. При рассмотрении явления вторично-электронной эмиссии (см. рис. 2.2*б*) было отмечено, что при больших скоростях (примерно нескольких киловольт) первичные электроны глубоко внедряются в толщу бомбардируемого вещества и возбужденные ими вторичные электроны не в состоянии совершить работу выхода. Если вещество находится в электрическом поле, то возбужденные электроны создают дрейфовый ток. Это явление носит название либо наведенной, либо возбужденной, либо вторично-электронной проводимости.

Наличие нескольких названий одного и того же явления, которые фактически являются синонимами, приводит к тому, что в ряде случаев некоторые авторы трактуют явления наведенной и вторичной-электронной проводимости как разные. Это ошибочное толкование очевидно связано с фирменными названиями телевизионных передающих трубок эбикон (эйбикон) и секон.

Эйбикон[1] имеет цилиндрический баллон, внутри которого смонтированы две секции: секция переноса электронного изображения I и секция считывания потенциального рельефа II (рис. 2.21*а*). Секция переноса электронного изображе-

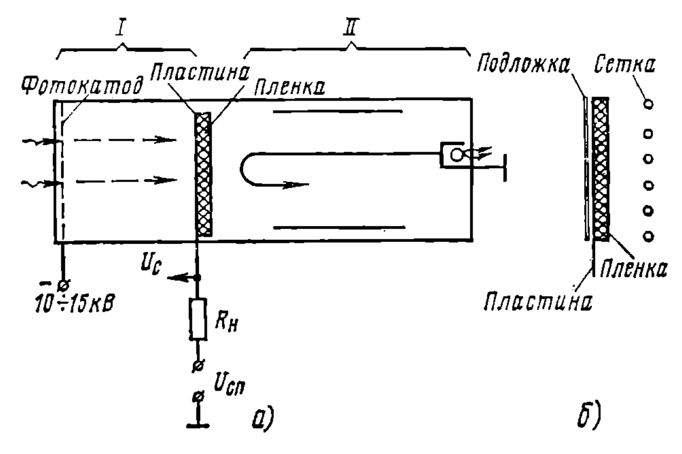


Рис. 2.21. Телевизионные передающие трубки с использованием явления возбуждаемой проводимости:
а — эбикон; *б* — узел мишени Секона

ния по конструкции аналогична такой секции в суперортиконе, но ускоряющее напряжение в эйбиконе составляет 10—15 кВ. Мишень эйбикона представляет собой тонкую (примерно 0,5 мкм) алюминиевую сигнальную пластину, на которую со стороны прожектора нанесена диэлектрическая или полупроводниковая пленка такой же толщины.

Развертывающий электронный луч замедленных электронов, облегая поверхность мишени, доводит ее потенциал до потенциала катода. Все элементарные конденсаторы на мишени заряжаются до потенциала $U_{с.п}$.

[1] От английского выражения Electron Bombardment Induced Conductivity — появление наведенной проводимости в результате электронной бомбардировки.

Если на фотокатод трубки спроецировать оптическое изображение, то оно превращается в электронное изображение, которое с помощью электрического поля переносится на мишень. Так как скорость фотоэлектронов очень велика, то они легко «простреливают» тонкую сигнальную пластину и углубляются в толщу материала мишени, возбуждая атомы вещества. Образовавшиеся свободные носители зарядов — электроны, дрейфуя в толще материала мишени, под действием поля заряженных участков образуют ток проводимости. Этот ток, разряжая элементарные участки мишени, создает на ее поверхности потенциальный рельеф. Так как перенос электронного изображения осуществляется непрерывно, происходит накопление зарядов. После каждого кадра потенциальный рельеф сглаживается и одновременно токи подзаряда элементарных конденсаторов, протекая через сопротивление нагрузки, создают напряжение сигнала изображения.

По принципу работу эйбикон несколько напоминает видикон, так как в обеих трубках потенциальный рельеф на мишени возникает от тока проводимости, разряжающего элементарные конденсаторы. Но в видиконе ток проводимости создается квантами света благодаря явлению фотопроводимости, а в эйбиконе — быстрыми фотоэлектронами за счет наведенной (вторично-электронной) проводимости. Каждый ускоренный фотоэлектрон может возбудить несколько сотен вторичных, поэтому коэффициент докоммутационного усиления в самой мишени обеспечивает очень высокую чувствительность эйбикона — около 10^{-3} лк на фотокатоде.

Как модификация эйбикона была также разработана телевизионная передающая трубка для ночного видения *эйбтрон*. Мишень этой трубки сделана из сульфида цинка. Эйбтрон имеет дополнительную сетку для коррекции электронно-оптических искажений при переносе.

Секон. Для космического телевидения была разработана трубка секон[1] (рис. 2.21*б*), работающая также по принципу использования явления наведенной проводимости. Мишень секона состоит из подложки (пленка окиси алюминия толщиной 0,5—1,0 мкм), тонкой алюминиевой сигнальной пластины (не более 0,5 мкм) и пористого слоя хлористого кальция (толщиной 10—25 мкм). Так как на мишени секона образуется глубокий положительный потенциальный рельеф может произойти переход трубки в режим быстрых электронов ($\sigma > 1$), и поэтому вводится защитная сетка, располагаемая от мишени на расстоянии 200—250 мкм.

Достоинствами секона являются: высокая чувствительность, низкая инерционность, ничтожно малый уровень шумов, возможность работы при различных стандартах разложения, длительное сохранение записанной информации (до суток), малая неравномерность фона, высокая механическая прочность, виброустойчивость и ударопрочность.

Для того чтобы снизить искажения при переносе электронного изображения, была предложена трубка проксикон, в которой используется безлинзовый перенос электронного изображения в равномерном электрическом поле. Расстояние между фотокатодом и мишенью в проксиконе уменьшено до 1 мм, а ускоряющее напряжение составляет примерно 4 кВ.

2.8. Усилители сигнала изображения для телевизионных передающих трубок

Одним из способов повышения чувствительности телевизионных передающих трубок является докоммутационное усиление оптического изображения. В качестве усилителей изображения (усилителей света) используются различные типы электронно-оптических преобразователей (ЭОП).

Простейший ЭОП был рассмотрен при описании принципа работы секции переноса электронного изображения в диссекторе (см. § 2.2).

[1] От английского выражения Secondy Electron Conductivity — вторичная электронная проводимость (SECON).

С помощью ЭОП, не имеющего электронной оптики, можно получить на приемном экране изображение в масштабе 1 : 1. Усиление изображения (повышение его яркости) происходит за счет энергии источника, питающего ЭОП. В случае применения электронных линз, создаваемых системой электродов или специальных фокусирующих катушек, которые надеваются на колбу ЭОП, можно уменьшить масштаб получаемого на экране изображения и тем самым дополнительно повысить его яркость.

Для сочленения ЭОП с передающей телевизионной трубкой (рис. 2.22*а*) применяются стекловолоконные пластины *4*, профиль которых согласован с формой экрана ЭПО *1*, *2*, *3* и входной планшайбы передающей трубки (для уменьшения искажений при фокусировке электронного изображения экран ЭОП делают не плоским, а сферическим).

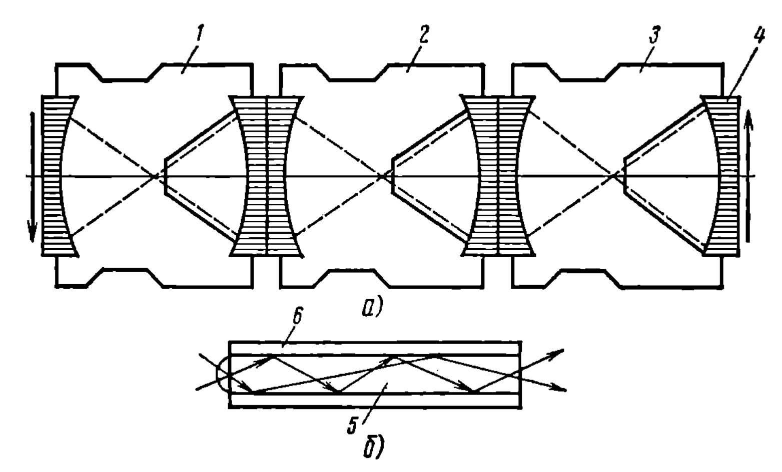


Рис. 2.22. Усилители оптического изображения и его элементы:
а — трехкамерный (трехмодульный) ЭОП; *б* — схема прохождения света в стеклянном волокне

Стекловолоконная пластина *4* состоит из очень тонких (диаметром в несколько микрометров) стеклянных волокон *5*, окруженных оболочкой *6* из стекла с меньшим показателем преломления. Свет, падающий на торец каждого волокна, проходя по нему, претерпевает на границе волокно — оболочка полное внутреннее отражение (рис. 2.22*б*).

В результате оптическое изображение с помощью стекловолоконной пластины передается без искажений и потерь яркости. Каскадное соединение нескольких ЭОП применяют для повышения чувствительности систем. Многокаскадный ЭОП может быть выполнен в одной общей вакуумной колбе.

Существуют конструкции усилителей электронного потока с использованием вторичной эмиссии «на прострел» (рис. 2.23). На пути электронного потока устанавливается один или несколько динодов, состоящих из тонких диэлектриче-

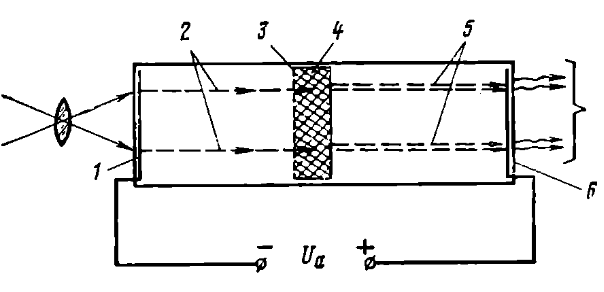


Рис. 2.23. Усилитель электронного потока с использованием вторичной эмиссии на прострел (*1* — фотокатод, *2* — фотоэлектроны, *3* — проводящая подложка, *4* — диэлектрическая пленка, *5* — усиленный поток электронов, *6* — люминофор с усиленным оптическим изображением)

ских пленок 4, нанесенных на тонкую проводящую подложку 3. Электроны «простреливают» сначала проводящую, а затем диэлектрическую пленки и вызывают вторичную электронную эмиссию с противоположной стороны динода.

Один динод при скорости первичных электронов 4—5 кВ может дать усиление примерно 7 раз. Пятикаскадный усилитель при общем напряжении 30—40 кВ может дать усиление по току до 10 000 раз.

Другим типом усилителя электронного потока является микроканальный усилитель (рис. 2.24).

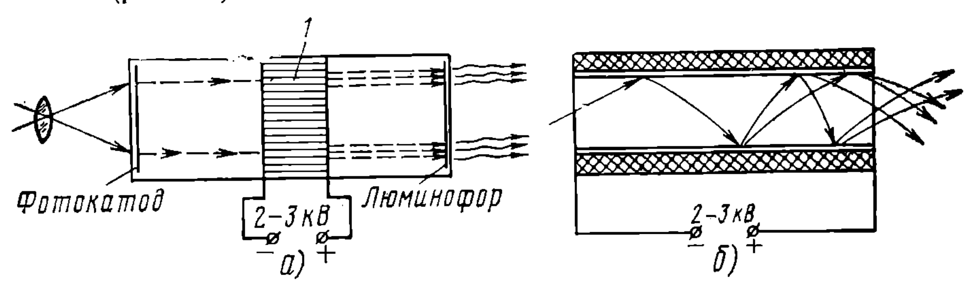


Рис. 2.24. Микроканальный усилитель:
а — схематическое устройство; *б* — разрез одной стеклянной трубочки блока и процесс вторично-электронного усиления

Работает он так: на пути электронного потока (рис. 2.24*а*) устанавливается блок 1, состоящий из параллельных стеклянных микроскопических трубочек (более 1 миллиона штук при диаметре блока 25 мм), у которых внутреннее покрытие имеет коэффициент вторичной эмиссии примерно 3—5. Торцы блока покрыты тонкой прозрачной для электронов металлической пленкой (рис. 2.24*б*). К выводам металлической пленки прикладывается ускоряющее напряжение в 2—3 кВ.

Первичные фотоэлектроны, попадая внутрь канала и ударяясь о его стенки, выбивают вторичные электроны. В результате этого коэффициент усиления по току на канал может составлять до 10^5. Микроканальный усилительный блок может быть вмонтирован непосредственно в передающую телевизионную трубку между полупрозрачным фотокатодом и мишенью трубки. Более подробные сведения об электронно-оптических преобразователях и усилителях света в [2.6, 2.7].

2.9. Характеристики и параметры передающих телевизионных трубок

Передающие телевизионные трубки характеризуются большим числом характеристик и параметров, важнейшими из которых являются: чувствительность; разрешающая способность; спектральная характеристика; световая характеристика (характеристика свет — сигнал); инерционность; передача градаций яркости; уровень собственных шумов; наличие паразитных сигналов.

Кроме полезного сигнала на выходе любой передающей телевизионной трубки имеется шумовой сигнал, вызванный различного рода флуктуациями электронов внутри трубки. Поэтому под *чувствительностью* понимают ту минимальную освещенность на фотокатоде трубки, при которой на выходе обеспечивается необходимое отношение сигнал/шум.

В справочных данных на передающие телевизионные трубки, как правило, указывается *интегральная чувствительность* пере-

дающей трубки $\varepsilon_ф$, которая определяется для широкого спектра видимого света. Обычно интегральная чувствительность определяется как отношение тока сигнала к световому потоку падающего на фотокатод трубки, выраженного в мкА/лм: $\varepsilon_ф = I_c/F$. Иногда интегральная чувствительность трубки оценивается как отношение тока сигнала к освещенности фотокатода трубки, мкА/лк: $\varepsilon_ф = I_c/E$. В справочниках часто приводится значение тока сигнала I_c для определенного значения освещенности [1.14].

Для правильного выбора типа телевизионной передающей трубки кроме интегральной чувствительности необходимо знать и *спектральную чувствительность* трубки, т. е. зависимость тока сигнала от длины волны света, падающего на фотокатод трубки. Для определения спектральных характеристик используются обычно монохроматоры, которые состоят из стабильного источника света, поворотной призмы и диафрагмы в виде узкой щели. Вращая призму, поочередно пропускают через щелевую диафрагму отдельные узкие участки спектра, соответствующие определенной длине волны, и одновременно фиксируют ток сигнала на нагрузочном сопротивлении трубки. Спектральная характеристика трубки (рис. 2.25*а*) представляет собой зависимость относи-

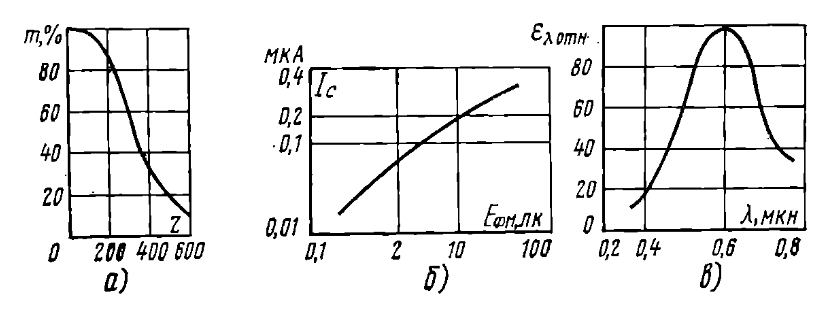


Рис. 2.25. Характеристики телевизионных передающих трубок:
а — апертурная характеристика; *б* — световая характеристика; *в* — спектральная характеристика трубки ЛИ-15

тельной чувствительности от длины волны световых излучений, воздействующих на фотокатод трубки, %:

$$\varepsilon_{\lambda_{отн}} = \varepsilon_\lambda \cdot 100/\varepsilon_{\lambda_{макс}}.$$

Разрешающая способность передающей трубки определяется числом различимых (наэкране контрольного кинескопа) черных и белых полос. Но эта визуальная оценка является субъективной, так как зависит от свойств зрения испытателя. Для объективной оценки трубки используется апертурная характеристика (рис. 2.25*б*), которая показывает зависимость значения глубины модуляции [1] сигнала изображения от размеров деталей изобра-

[1] *Глубина модуляции* сигнала изображения — это отношение размаха сигнала при передаче мелких деталей к размаху сигнала при передаче изображения крупных деталей.

жения (числа Z черных и белых полос, укладывающихся по вертикальной стороне кадра). При снятии апертурной характеристики размах сигнала от черно-белых перепадов крупных деталей (широких полос) принимается за 100%.

Уменьшение амплитуды (размаха) сигнала при увеличении числа полос (при уменьшении их ширины) объясняется тем, что размер анализирующего элемента, т. е. сечение (апертура) считывающего электронного луча в передающей трубке, становится соизмеримым с шириной полос потенциального рельефа на мишени трубки. Подробнее этот вопрос будет рассмотрен в гл. 6. Разрешающая способность трубок обычно оценивается одной контрольной точкой — значением глубины модуляции для $Z=400$.

Световая характеристика трубки (характеристика свет — сигнал) показывает зависимость тока сигнала от освещенности фотокатода (рис. 2.25*в*).

Световые характеристики имеют нелинейный характер, что может привести к искажению правильной передачи градаций яркости (оттенков серого) элементов передаваемого изображения. Эти искажения носят название нелинейных искажений, и вопрос об их компенсации будет рассмотрен в гл. 6.

Инерционность телевизионных передающих трубок сказывается в том, что при быстрых движениях объекта передачи происходит «смазывание» изображения, а при резкой смене сюжета (смена кадра в телевизионном фильме) — наложение предыдущего изображения на новую сцену.

Оценивается инерционность трубки как отношение тока сигнала на выходе через промежуток времени, равный времени передачи одного кадра, после прекращения освещения к току сигнала до прекращения освещения.

Как уже отмечалось выше, шумы телевизионных передающих трубок объясняются внутренними флуктуациями в самой трубке. Шум передающих трубок в процессе телевизионной передачи наблюдается в виде появляющихся светлых и черных точек на экране приемного кинескопа.

Вопрос о природе шумов и способах их компенсации рассмотрен в гл. 6.

Паразитные сигналы определяются механизмами образования потенциального рельефа и его считывания и были рассмотрены на примере иконоскопа. Ряд современных трубок (например, секон) паразитных сигналов не создают.

Данные об отечественных телевизионных передающих трубках можно найти в [1.14].

2.10. Передающие камеры черно-белого изображения для телевизионного вещания

Основными элементами передающей камеры являются передающая трубка с фокусирующей и отклоняющей системой, блок генераторов разверток, предварительный усилитель сигнала изоб-

ражения, усилитель гасящих импульсов, оптический узел (рис. 2.26). Кроме того, каждая передающая камера имеет электронный видоискатель — малогабаритное ВКУ.

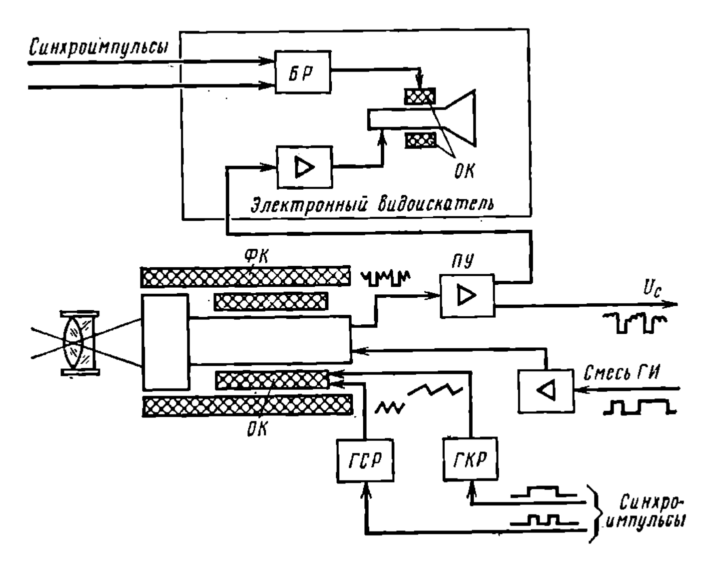


Рис. 2.26. Структурная схема студийной передающей телевизионной камеры черно-белого изображения (*ГИ* — гасящие импульсы, *ПУ* — предварительный усилитель сигнала изображения, *ГСР* и *ГКР* — генераторы строчной и кадровой развертки)

Электронный видоискатель позволяет телевизионному оператору не только наводить камеру на объект передачи, но и одновременно контролировать передаваемое изображение.

На блок генераторов разверток по камерному кабелю (кабель, соединяющий передающую камеру с аппаратной или ПТС) поступают синхронизирующие (ведущие) импульсы. Одновременно по этому кабелю на вход усилителя подаются гасящие импульсы, запирающие электронный луч, передающей трубки на время обратных строчных и кадровых ходов развертки.

Предварительный усилитель сигналов изображения усиливает слабый сигнал, снимаемый с нагрузки передающей трубки, до значения 50—100 мкВ и обеспечивает согласование выходного сопротивления камеры с малым волновым сопротивлением коаксиального кабеля.

Электронный видоискатель, кроме миниатюрного кинескопа, содержит блок генераторов разверток и усилитель изображения сигналов.

Внешний вид студийной камеры показан на рис. 2.27. Устанавливается камера либо на специальном штативе на колесах, либо на операторском кране.

На передней стенке камеры устанавливается оптический узел — это либо поворотная турель с набором объективов, либо

специальный вариообъектив с плавным изменением фокусного расстояния.

Наличие нескольких объективов позволяет оператору в ходе передачи, не передвигая камеру, изменять масштаб изображения, т. е. переходить с общего плана на крупный или наоборот. Но переход при этом совершается скачком.

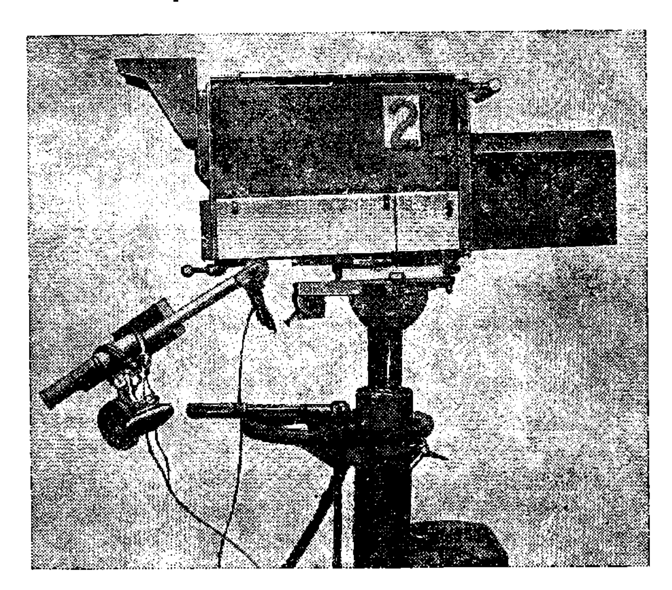


Рис. 2.27. Современная студийная отечественная передающая камера КТ-116М с вариообъективом «Радуга»

Однако в кинематографии и на телевидении широко применяются так называемые «наезды», т. е. плавное изменение масштаба изображения. При обычных объективах этот творческий прием требует плавного перемещения самой камеры. Это не всегда удобно и возможно. Вариообъектив позволяет осуществлять «наезды» при неподвижной камере, путем плавного изменения фокусного расстояния объектива, что достигается с помощью изменения расстояния между отдельными элементами вариообъектива.

2.11. Многотрубочные передающие камеры цветного изображения

Трехтрубочная передающая камера цветного изображения в качестве основных элементов (рис. 2.28*а*) содержит общий для трех трубок блок генераторов развертки и три отдельных предварительных усилителя изображения сигналов.

Оптический узел трехтрубочной камеры содержит, кроме объектива (или набора объективов), систему расщепления лучей, выходящих из объектива, на три одноцветных световых потока: красный, зеленый, синий.

С точки зрения более полного использования светового потока рационально его расщеплять с помощью двух цветоизбирательных (дихроичных) зеркал. *Дихроичное зеркало* представляет собой хорошо отполированную стеклянную пластину, покрытую с одной стороны тонкой прозрачной пленкой диэлектрика (рис. 2.28*б*). Белый луч I_1, попав на дихроичное зеркало, последова-

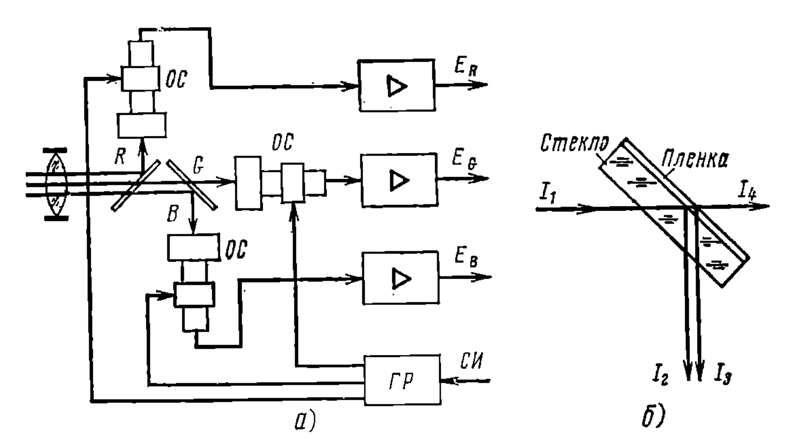


Рис. 2.28. Трехтрубочная передающая камера цветного изображения:
а — структурная схема; *б* — принцип действия дихроичного (цветоизбирательного) зеркала

тельно совершает два перехода: первый из более плотной среды (стекло) в менее плотную (диэлектрик) и второй из более плотной среды (диэлектрик) в менее плотную (воздух). При этом на каждом переходе световой поток испытывает внутреннее отражение (лучи I_2 и I_3).

В зависимости от толщины пленки диэлектрика и длины световой волны лучи I_2 и I_3 могут находиться в различных фазовых соотношениях. Если, например, для красного света лучи I_2 и I_3 оказываются в фазе, то такое зеркало будет отражать только красные лучи, а отраженные лучи с другой длиной волны будут либо ослаблены, либо полностью исключены (в случае противофазного сдвига I_2 и I_3). Для второго зеркала толщину пленки диэлектрика подбирают так, чтобы оно отражало только синие лучи. Лучи зеленого цвета проходят оба зеркала, не отражаясь. Таким образом, дихроичные зеркала позволяют отделить от общего светового потока лучи определенного цвета.

Для улучшения избирательных свойств применяют дихроичные зеркала с многослойным диэлектрическим покрытием. Путем подбора материала пленок, их толщины и взаимного чередования удается получить дихроичные зеркала, обладающие высокой цветоизбирательностью. Для более точного разделения светового потока на составляющие в основных цветах перед каждой из передающих трубок устанавливают дополнительные корректирующие светофильтры (красный, синий, зеленый).

Четкость цветного изображения, создаваемого трехтрубочной камерой, зависит от точности совмещения оптических изображений и растров на мишенях передающих трубок, что является достаточно сложной задачей. Поэтому находят применение четырехтрубочные камеры цветного изображения, в которых четвертая трубка служит для генерирования сигнала яркости. В такой камере четкость изображения определяется только четвертой трубкой, так как остальные трубки работают в каналах с сокращенной полосой частот (в цвете передаются только крупные детали изображения).

Сложность трехтрубочных камер цветного телевидения заставила изыскивать пути создания однотрубочных камер. Были предложены трехсигнальные видиконы, а также специальные методы разделения сигналов в камерах на одной обычной трубке.

Наиболее просто вопрос построения однотрубочных камер решается в системе с поочередной передачей цветов, но такая система не может быть совместимой и находит применение только в прикладных телевизионных устройствах.

2.12. Однотрубочные и двухтрубочные камеры цветного изображения

Общие сведения. Трехсигнальный видикон с секционированной сигнальной пластиной. Мишень трехсигнального видикона (рис. 2.29*а*) имеет трехцветный штриховой светофильтр (штрихи ориентированы вертикально). На полоски (штрихи) светофильтров со стороны полупроводникового слоя нанесены полупрозрачные проводящие покрытия, образующие секции сигнальной пластины. Все проводящие полоски, соответствующие одному цвету, соединены между собой и образуют секции каналов R, G и B. Полупроводниковый слой является сплошным.

Работает трубка как обычный видикон, но создает не один сигнал изображения, а три импульсных сигнала (рис. 2.29*б*). При движении развертывающего луча, поперек штрихов светофильтров, поочередно возникают импульсы в каналах R, G, B. Сдвиг фаз между импульсами составляет одну треть периода их следования, или 120°. Амплитуда импульсов соответствует яркости цветных деталей передаваемого объекта, спроецированных на мишень.

Импульсные сигналы с помощью фильтра с ограниченной полосой пропускания преобразуются в непрерывный сигнал (в аналоговой форме).

Сигнал яркости Y получается с помощью линейного преобразования (суммирующей матрицы [1]).

Достоинством трехсигнального видикона описанной конструкции является простота самой трубки и, как следствие, простота устройства передающей камеры. Наиболее серьезным недостатком такой трубки является сильная емкостная связь между соседними

[1] О матрицах [см. гл. 7].

секциями сигнальной пластины, что вызывает перекрестные искажения и искажения цвета передаваемого изображения. Для уменьшения емкости приходится усложнять конструкцию трубки.

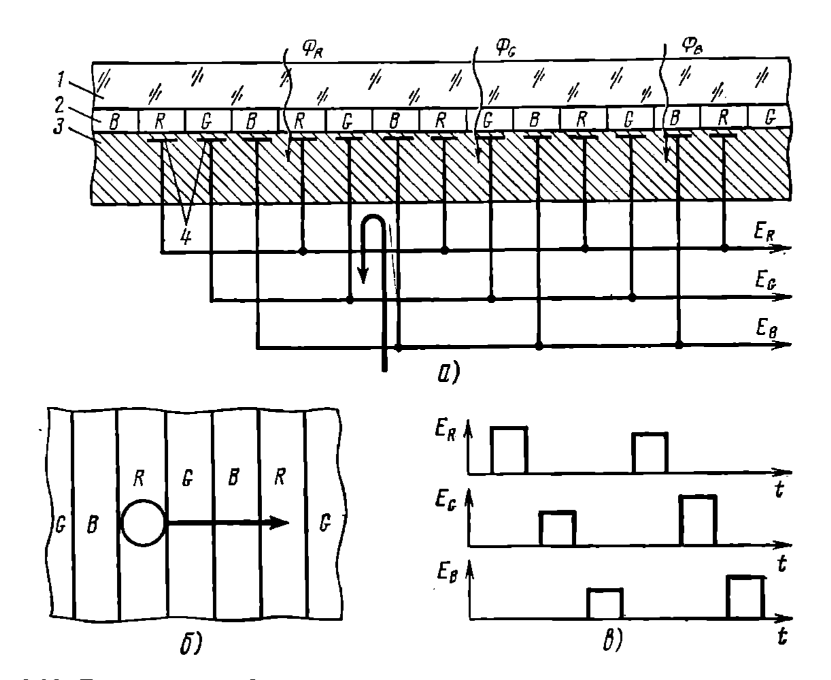


Рис. 2.29. Трехсигнальный видикон:
а — структура мишени (в разрезе); *б* — вид мишени в плане; *в* — форма сигналов на выходах
(*1* — стекло, *2* — штриховой трехцветный светофильтр, *3* — полупроводящий фотослой, *4* — секционированная полупрозрачная сигнальная пластина)

Широкое применение получили трехсигнальные передающие телевизионные трубки *триникон*. Триникон отличается от обычных трехсигнальных видиконов конструкцией сигнального электрода, который содержит, кроме секций каналов *R*, *G*, *B*, еще специальные гребенки индексных электродов с самостоятельными наружными выводами.

Триникон генерирует трехфазный импульсный сигнал изображения и индексный сигнал, который используется при дальнейшей обработке исходных сигналов E_R, E_G, E_B.

Ряд зарубежных фирм (Япония, США) выпускает малогабаритные передающие однотрубочные камеры на серийных триниконах, которые с успехом используются для прикладных целей, а в телевизионном вещании — в качестве репортажных.

Штриховые кодирующие светофильтры. Описанные выше трехсигнальные передающие телевизионные трубки сложны по конструкции. Желательно было получить три сигнала от односигнальной трубки. Чтобы понять идею получения двух и даже трех сигналов от одной трубки, рассмотрим метод переноса спектра сиг-

нала изображения с помощью штрихового светофильтра (рис. 2.30)[1].

Допустим, передаваемое изображение представляет собой широкую вертикальную белую полосу на черном фоне (рис. 2.30*а*). Сигнал от такого изображения будет представлять собой последовательность прямоугольных импульсов с частотой строчной развертки $f_{стр}$.

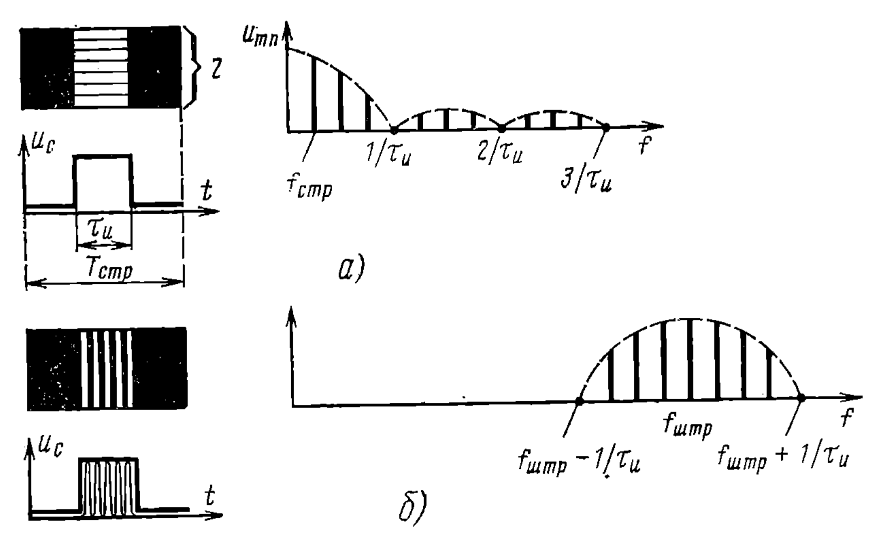


Рис. 2.30. Принцип действия штрихового светофильтра:
а — форма сигнала и его спектр от изображения широкой белой вертикальной полосы; *б* — то же при наличии штрихового светофильтра

Поместим перед фотокатодом (фотомишенью) передающей трубки штриховой светофильтр из вертикальных черных и белых полос, ширина которых значительно меньше ширины широкой белой полосы (рис. 2.30*б*).

Теперь сигнал изображения будет представлять собой последовательности пакетов коротких импульсов, частота повторения которых $f_{штр}$ зависит от ширины штрихов.

Последовательность пакетов коротких импульсов можно рассматривать как импульсную модуляцию несущих колебаний в виде коротких импульсов с частотой $f_{штр}$, а роль модулирующих колебаний играют широкие импульсы с частотой $f_{стр}$. Спектр такого импульсно-модулированного колебания будет сдвинут (транспонирован) в область верхних частот (рис. 2.30*б*). Изменяя густоту (или шаг) штрихового светофильтра, можно перемещать спектр сигнала изображения вверх или вниз по частоте.

Очевидно, что ширина вертикальных штрихов светофильтра не должна быть меньше диаметра считывающего луча, который примерно соответствует размерам элемента разложения. Следова-

[1] При написании данного раздела были использованы статьи [2.17], [2.18], [2.24], [2.27].

тельно, размер самых малых деталей передаваемого изображения должен быть в несколько раз больше элемента разложения, или иначе, данный метод переноса спектра применим только для изображения с крупными деталями.

Глаз человека плохо различает мелкие цветные детали, и поэтому в цветном телевидении в естественных цветах передают только крупные цветные детали, а мелкие детали передают в черно-белых тонах. Значит, рассмотренный метод переноса спектра сигнала изображения может быть использован в цветном телевидении.

Принцип построения однотрубочной передающей камеры цветного изображения с частотным разделением сигнала цветности. Для построения такой камеры на планшайбу, прикрывающую фотомишень передающей трубки, надо наложить двухслойный светофильтр (рис. 2.31*а*). Первый светофильтр состоит из чередующих-

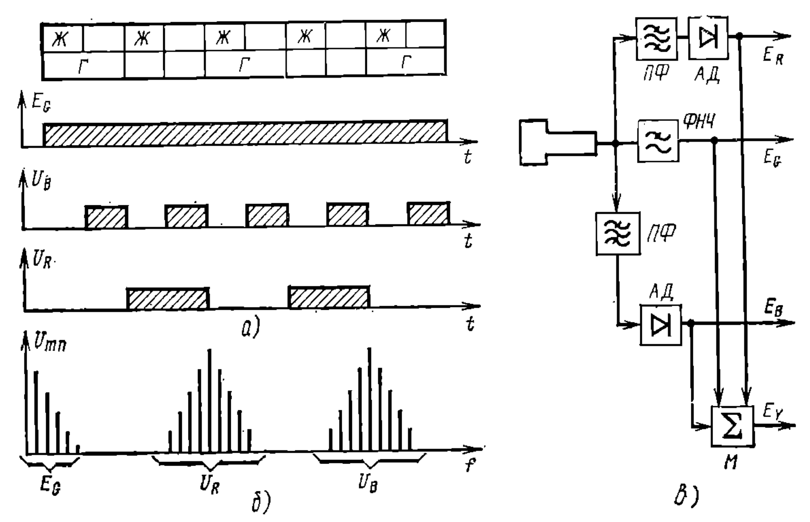


Рис. 2.31. Принцип построения камеры цветного изображения с частотным разделением сигналов цветности:
а — структура двухслойного светофильтра и форма сигналов изображения при освещении только зеленым E_G, только синим U_B или только красным U_R светом; *б* — спектр сигнала, генерируемого трубкой; E_G, U_R и U_B — участки, соответствующие передаче зеленых, красных и синих деталей); *в* — упрощенная структурная схема передающей камеры

ся желтых и прозрачных нейтральных (бесцветных) полосок. Второй слой — из чередующихся голубых и нейтральных полосок. Ширина полосок во втором слое в 2 раза больше, чем в первом.

Желтые полоски прозрачны для зеленых и красных лучей, а голубые — для зеленых и синих. Двойной слой из желтой и голубой полосок прозрачен только для зеленых лучей. Там, где совпадают нейтральные полоски обоих слоев, образуется «окно», через которое проходят беспрепятственно все лучи — красные, зеленые, синие. Следовательно, на передачу зеленых деталей такой двухслойный желто-голубой светофильтр влиять не будет.

Если осветить фотокатод (фотомишень) передающей трубки с таким светофильтром равномерным зеленым светом, то потенциального рельефа на мишени не будет и трубка будет генерировать постоянное напряжение. При одновременном освещении равномерным красным и синим светом фотомишени появится рельеф, так как непрозрачные участки светофильтров будут «бросать тень» и трубка будет вырабатывать импульсный сигнал. Частота импульсов при синем освещении будет в 2 раза выше, чем при красном (рис. 2.31*б*). Импульсные сигналы от красных и синих полосок светофильтров будут служить поднесущими для передачи сигнала изображения от цветных деталей, а сигнал от зеленых деталей изображения поднесущей иметь не будет и передается в область низких частот. Таким образом, при передаче многоцветного изображения трубка будет генерировать сложный сигнал изображения, спектр которого будет иметь три области (рис. 2.31*в*):

нижних частот, в которой передаются сигналы от зеленых деталей;

средних частот, в которой передаются сигналы от красных деталей, на «красной» поднесущей;

верхних частот, в которой передаются сигналы от синих деталей, на «синей» поднесущей.

Для отделения сигнала E_G применяется фильтр нижних частот *ФНЧ*, а для выделения сигналов E_R и E_B — полосовые фильтры *ПФ* (рис. 2.31*г*). Для образования яркостного сигнала E_Y используется суммирующая матрица *М*. Но так как «красный» и «зеленый» сигналы являются амплитудно-модулированными, то после полосовых фильтров необходимо включить амплитудные детекторы *АД*.

Однотрубочная передающая камера цветного изображения с фазовым разделением сигналов цветности. Недостатком описанной передающей камеры с частотным разделением является наличие двух поднесущих частот, что ограничивает полосу сигналов цветности каналов *R* и *B* и, следовательно, снижает четкость изображения красных и синих деталей.

В передающей камере с фазовым разделением (рис. 2.32*а*) также применяется двухслойный светофильтр, но направление полос в обоих слоях не совпадает, а составляет определенный угол. Полоски одного слоя устанавливаются вертикально, а второго слоя наклоняются. Ширина полосок при этом должна быть несколько различной (рис. 2.32*б*).

Полоски светофильтра, пропускающие зеленые и синие лучи, располагаются вертикально (рис. 2.32*б*), полоски, пропускающие зеленые и красные лучи, — под некоторым углом. Как видно из рис. 2.32*г*, фаза импульсов сигнала изображения в канале E_B в двух смежных строках изменяется на 180°. Путем подбора ширины наклонных полосок добиваются равенства поднесущих частот для каналов U_R и U_B. Для формирования сигналов основных цветов используется устройство, схема которого показана на рис. 2.32*а*. Фильтр нижних частот используется для выделения низко-

частотной части спектра, содержащей информацию о зеленых деталях. Полосовой фильтр *ПФ* выделяет полосу частот, в которой расположена поднесущая сигналов от синих и красных деталей. Линия задержки на время длительности одной строки *ЛЗ* позво-

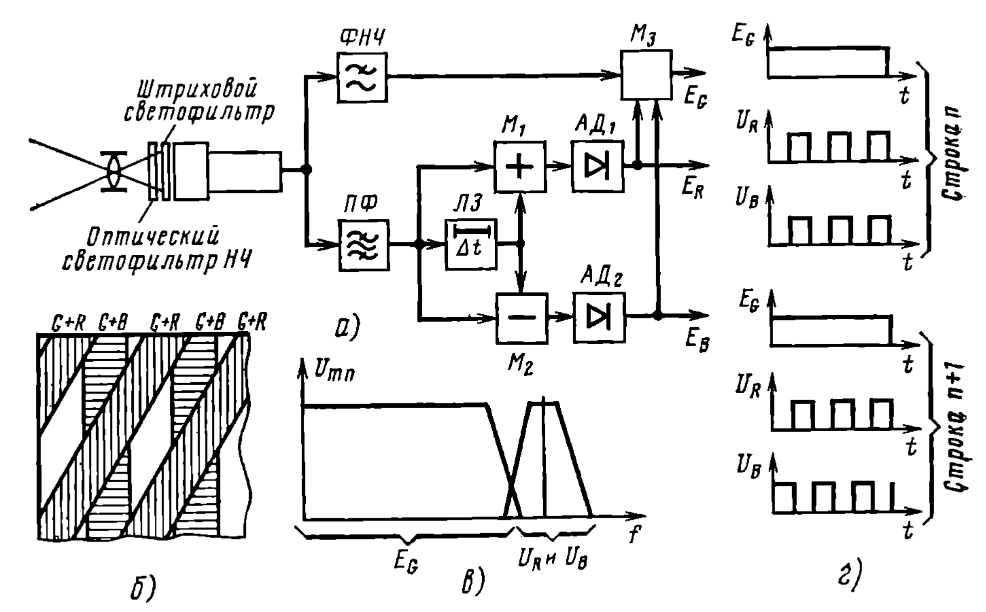


Рис. 2.32. Принцип построения однотрубочной камеры цветного изображения с фазовым разделением сигналов цветности:
а — упрощенная структурная схема камеры; *б* — структура однослойного штрихового светофильтра; *в* — спектр сигнала, генерируемого трубкой; *г* — форма сигналов двух смежных строк на выходе передающей трубки

ляет совместить во времени сигналы от двух смежных строк канала E_B. Окончательное формирование сигналов основных цветов осуществляется с помощью матриц M_1, M_2, M_3 и двух амплитудных детекторов $АД_1$ и $АД_2$.

Использование только одной поднесущей частоты позволяет расширить полосу частот сигнала E_G и тем самым повысить четкость передаваемых изображений.

Однотрубочные передающие камеры цветного изображения с фазовым разделением сигналов цветности являются весьма перспективными.

Двухтрубочные передающие камеры цветного изображения. Как следует из описания однотрубочных камер цветного изображения, четкость передаваемого изображения получается ниже, чем в черно-белых камерах, так как сигнал яркости формируется из сигналов цветности, имеющих ограниченный спектр.

Поэтому наряду с однотрубочными камерами цветного изображения получили развитие и двухтрубочные камеры, в которых одна из трубок используется для генерирования широкополосного сигнала яркости, а вторая генерирует сигналы цветности.

Предложено много вариантов построения двухтрубочных камер. По принципу построения такие камеры могут быть с частотным или фазовым разделением сигналов цветности.

На рис. 2.33*а* показана упрощенная структурная схема двухтрубочной камеры с частотным разделением сигналов цветности.

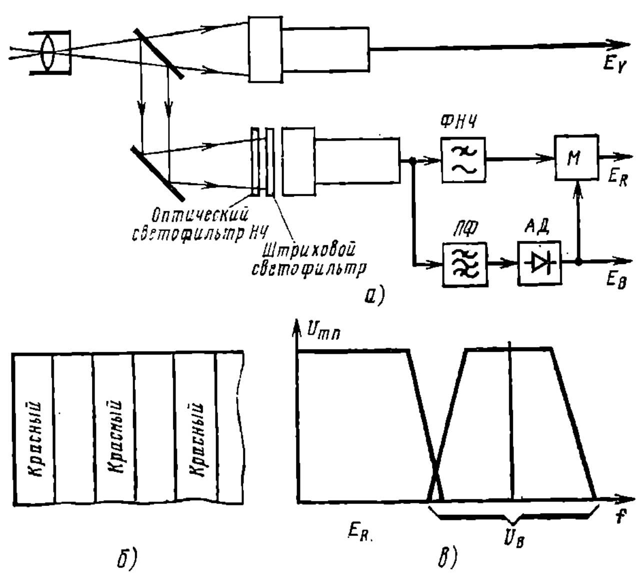


Рис. 2.33. Принцип построения двухтрубочной камеры цветного изображения с разделением цветности по частоте:
а — упрощенная структурная схема камеры; *б* — структура однослойного штрихового светофильтра; *в* — спектр сигнала, генерируемого трубкой канала цветности

Перед входной планшайбой передающей трубки канала цветности установлены оптический светофильтр нижних частот и однослойный штриховой светофильтр для выделения сигналов красного и синего.

Оптический светофильтр нижних частот устраняет из красного и синего цветоотделенных изображений мелкие детали, т. е. сужает частотный спектр этих сигналов и предупреждает возможность появления перекрестных искажений [1].

Штриховой светофильтр однослойный и состоит из вертикальных штрихов одинаковой ширины — полупрозрачных красных и нейтральных (рис. 2.33*б*). Такой фильтр прозрачен по всей поверхности для красных лучей, а для синих лучей штриховой. При

---

[1] Оптический фильтр НЧ — это оптическая структура с мелкими неоднородностями, которые рассеивают световые лучи и снижают тем самым четкость оптического изображения (в качестве такого фильтра может быть использовано матовое стекло).

считывании сигнала с мишени трубки в спектре сигнала изображения информация о красных деталях будет размещаться в области НЧ, а информация о синих деталях в области ВЧ на цветовой поднесущей, частота которой определяется параметрами штрихового светофильтра (рис. 2.33*в*). Так как в НЧ части спектра сигнала красного канала присутствуют составляющие синего сигнала, то их необходимо вычесть, т. е. сложить с обратной фазой. Для этого служит матрица *М*.

Двухтрубочная камера с фазовым разделением сигналов цветности (рис. 2.34*а*) отличается отсутствием оптического фильтра НЧ, а штрихи светофильтра имеют определенный наклон (рис. 2.34*б*), который обеспечивает сдвиг фаз между импульсными сиг-

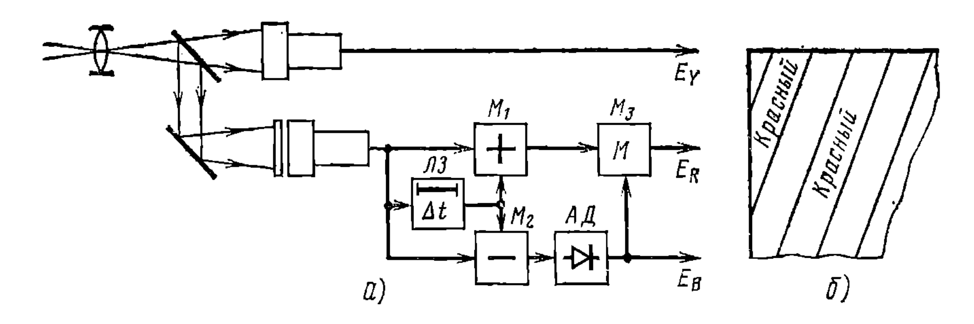


Рис. 2.34. Принцип построения двухтрубочной камеры цветного изображения с фазовым разделением сигналов цветности:
а — упрощенная структурная схема камеры; *б* — структура однослойного штрихового светофильтра

налами смежных строк одного полукадра на 180°. Поэтому в схему формирования сигналов E_R и E_B вводится линия задержки на время одной строки и три матрицы — M_1, M_2, M_3. Зато в этой камере отпадает необходимость в фильтре нижних частот и полосовом фильтре.

Выше было рассмотрено ограниченное число вариантов одно- и двухтрубочных камер цветного изображения. В литературе описано много других вариантов построения малотрубочных камер с различными структурами штриховых светофильтров.

Следует упомянуть о двухлучевом видиконе, получившем название *бивикон*. В этой трубке на мишени формируются два одинаковых растра — один под другим. Световой поток, поступающий в общий объектив камеры, расщепляется на два: первая часть потока проецируется на верхний растр, на котором формируется яркостный сигнал, а вторая часть — на нижний растр через систему штриховых светофильтров и служит для формирования сигналов цветности. Так как оба луча бивикона управляются общей ФОС, достигается полная идентичность обоих растров.

Глава 3

Воспроизводящие телевизионные устройства

3.1. Кинескопы черно-белого телевидения

Устройство кинескопа. В современном телевидении преобразование оптического изображения в электрический сигнал и электрического сигнала в оптическое изображение в подавляющем большинстве случаев осуществляется с помощью передающих и приемных электронно-лучевых трубок. Приемные трубки часто также называют кинескопами, от греческого слова kineo — двигаю и scopio — наблюдаю, смотрю. Кинескоп — прибор для наблюдения движущихся изображений.

Кинескоп состоит из стеклянного баллона (колбы), из которого тщательно удален воздух. Внутри баллона размещены следующие основные элементы (рис. 3.1): электронно-оптическая систе-

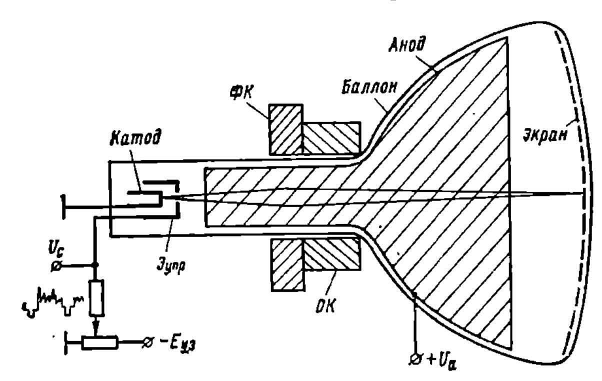


Рис. 3.1. Устройство простейшего кинескопа с магнитной фокусировкой луча

ма, образующая тонкий пучок быстролетящих электронов — электронный луч и поэтому называемая электронным *прожектором*, или электронной пушкой; люминесцирующее покрытие — тонкий слой специального вещества, покрывающего внутреннюю поверхность экрана и способного светиться при бомбардировке электронов.

Электронный прожектор состоит из накаливаемого катода — *термокатода* и системы аксиально-симметричных электродов. По выполняемым функциям электронный прожектор часто подразделяют на две части — эмиссионную систему, излучающую электроны и формирующую из них сравнительно узкий электронный пучок, и фокусирующую систему, осуществляющую на поверхности экрана кинескопа острую фокусировку электронного пучка. В качестве фокусирующей системы могут использоваться как электрические, так и магнитные линзы. При фокусировке луча магнитной

линзой образующая ее фокусирующая катушка размещается снаружи, на горловине кинескопа.

В простейших конструкциях прожекторов обязательно наличие катода, управляющего электрода (модулятора) и анода (см. рис. 3.1). В более сложные электронные прожекторы еще могут входить ускоряющие или экранирующие электроды и вторые и даже третьи аноды (рис. 3.2).

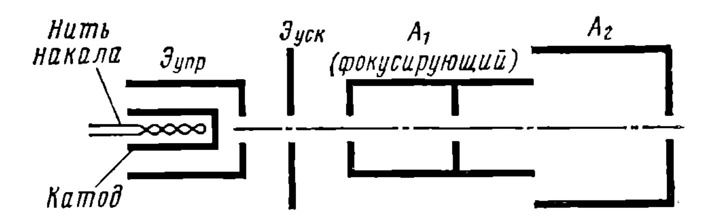


Рис. 3.2. Одна из конструкций электронного прожектора (пентодного); $Э_{упр}$ и $Э_{уск}$ — управляющий и ускоряющий электроды; A_1 и A_2 — первый и второй аноды

Катод. Источником электронов для формирования электронного луча служит термокатод. В подавляющем большинстве современных кинескопов применяется оксидный катод с косвенным подогревом. Он обычно выполняется в виде металлического цилиндра, на торце которого нанесен активный эмиттирующий электроны слой (оксид). Внутри цилиндра помещается нить подогревателя. Потенциал катода в большинстве случаев делается равным нулю. Относительно катода отсчитываются потенциалы других электродов прожектора.

Увеличение размеров экранов кинескопов и стремление повысить их яркость потребовали увеличения тока луча, что привело к форсированию режима работы катода и сокращению сроков его службы. Поэтому при разработке и изготовлении катодов приходилось изыскивать какие-то компромиссные решения, чтобы удовлетворить противоречивым требованиям в отношении яркости экрана, четкости изображения и срока службы катода. Последний определяется в первую очередь рабочей температурой, которая обычно берется примерно 1000 К.

Управляющий и ускоряющий электроды. Управляющий электрод (модулятор) чаще всего выполняется в виде охватывающего катод цилиндра, перегороженного на конце диафрагмой с отверстием в середине. Этот электрод служит для управления потоком электронов, излучаемых катодом, и играет важную роль в формировании электронного луча. Потенциал управляющего электрода поддерживается отрицательным относительно катода (обычно несколько десятков вольт).

Ускоряющий или экранирующий электрод выполняют большей частью в виде металлического диска с отверстием на пути движения электронов или в виде металлического цилиндра с одной или несколькими диафрагмами. Ускоряющий электрод относительно катода находится под сравнительно небольшим положительным потенциалом (несколько сотен вольт).

Аноды выполняются в виде металлических диафрагм, цилиндров, усеченных конусов или проводящего (металлического

или графитового) покрытия на стенках баллона. Анодов в кинескопе бывает несколько (1—3). Потенциалы их довольно значительны — сотни, тысячи и даже десятки тысяч вольт. Они обеспечивают фокусировку электронов и определяют конечную скорость, с которой электроны бомбардируют экран.

Эмиссионная система. Плоский катод, излучающий электроны, управляющий электрод и первый (фокусирующий) анод (а иногда и ускоряющий электрод) образуют своеобразную электронную линзу, часто называемую *иммерсионной* линзой, или *иммерсионным* объективом. Такое название происходит от латинского слова immercio — погружаю. В иммерсионном объективе катод как бы погружен в поле этого объектива.

Электроны вылетают из катода расходящимся пучком, но, проходя через отверстие управляющего электрода, находящегося под отрицательным потенциалом, испытывают отталкивающее действие в направлении оси прожектора (рис. 3.3*б*). В результате электроны несколько изменят свою траекторию и, выйдя из отверстия

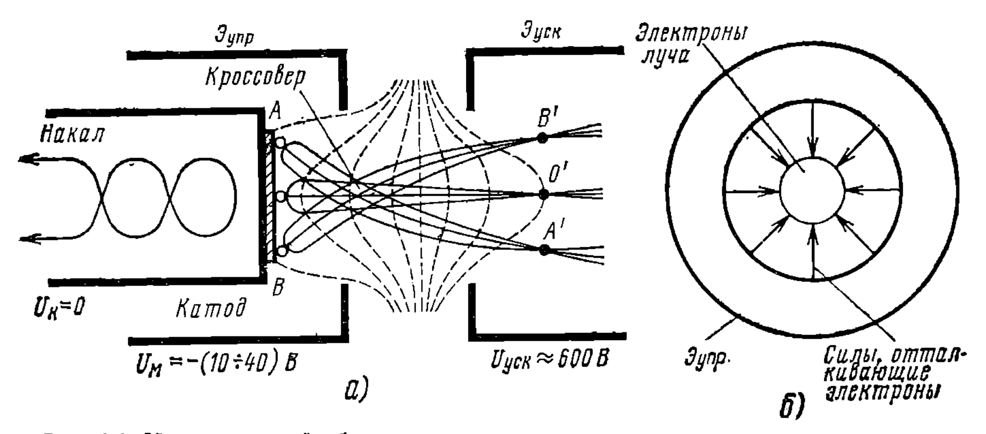


Рис. 3.3. Иммерсионный объектив:
а — схема; *б* — воздействие отрицательного потенциала управляющего электрода (модулятора) на электроны луча

управляющего электрода, пересекутся с осью прожектора. Место пересечения, представляющее собой наиболее узкую часть электронного пучка, называется *скрещением* или *кроссовером*.

Изображенная на рис. 3.1 простейшая триодная эмиссионная система обладает рядом существенных недостатков. В ней сильно изменяется яркость свечения экрана не только при изменении того луча, но и при изменении ускоряющего напряжения $U_а$. Затем происходит значительная дефокусировка луча при изменении напряжения на управляющем электроде, вызванная изменением размеров и положения кроссовера и угла расхождения электронов по выходе их из эмиссионной системы.

Более совершенны и почти свободны от перечисленных недостатков электронные прожекторы тетродного и пентодного типов (см. рис. 3.2).

Фокусирующая система кинескопа. Для четкого воспроизведения на экране кинескопа мелких деталей изображения необходимо, чтобы диаметр электронного луча на поверхности экрана, а следовательно, и диаметр светящегося пятна на экране (развертывающая апертура) были не больше допустимой толщины одной строки разложения $\delta = h/Z_р$, где h — высота изображения на экране, а $Z_р$ — число реальных строк разложения. При невыполнении этого требования строки будут накладываться друг на друга, и четкость изображения соответственно снизится.

Процесс сжатия электронного луча для получения необходимого диаметра апертуры называется *фокусировкой луча*, а электронно-оптическое устройство, обеспечивающее фокусировку, — *фокусирующей* системой. Используя терминологию, принятую в оптике, можно сказать, что фокусирующая система проецирует на экран изображение некоторого предмета. Практика показала, что при попытках использовать в качестве такого предмета термокатод изображение последнего на экране получается недопустимо большим (занимает 3—5 и более строк). Уменьшение площади термокатода требует форсирования режима его работы для получения нужного тока луча и, следовательно, приводит к сокращению срока службы. Оказалось, что достаточно хорошую фокусировку можно получить, проецируя на экран изображение не катода, а получаемого в иммерсионном объективе кроссовера — самой узкой части электронного пучка.

Для проекции кроссовера на экран применяют как электростатические, так и электромагнитные линзы. Из электростатических наиболее широкое распространение получила ускоряющая (бипотенциальная) линза, состоящая из двух, расположенных друг за другом, цилиндров (рис. 3.4). В качестве магнитных линз применяют короткие фокусирующие катушки (тонкие магнитные линзы) или изредка постоянные магниты.

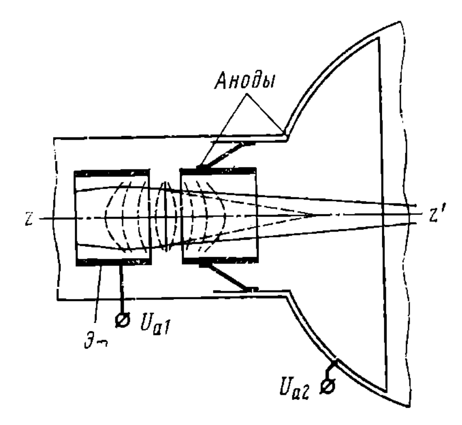


Рис. 3.4. Устройство и работа бипотенциальной линзы ($Э_ф$ — фокусирующий электрод)

Электростатическая линза. Теория электронной оптики, описывающая движение электрона в электрических и магнитных полях, довольно сложна и громоздка. Чтобы понять и представить себе работу бипотенциальной электростатической линзы, примем без доказательств следующее правило, устанавливаемое этой теорией: электроны, двигаясь в электрическом поле от низшего потенциала к высшему и пересекая эквипотенциальные поверхности, отклоняются в сторону нормалей к этим поверхностям в точке пересечения с ними.

Диаметры цилиндров, образующих ускоряющую линзу, могут быть как одинаковыми, так и разными (см. рис. 3.2). Иногда один из цилиндров заменяется или дополняется (см. рис. 3.4) проводящим покрытием, нанесенным на внутренние стенки баллона. Первый (левый) цилиндр (фокусирующий электрод) бипотенциальной линзы (см. рис. 3.4) имеет потенциал меньше потенциала второго цилиндра (второго анода). Вследствие этого между цилиндрами создается электростатическое поле, потенциальный рельеф которого показан пунктирными эквипотенциальными кривыми. Электроны, поступающие от первого цилиндра расходящимся пучком, попадают на выпуклые эквипотенциальные поверхности, действующие как собирательная линза. Пройдя промежуток между цилиндрами, электроны попадают на вогнутые эквипотенциальные поверхности, которые действуют рассеивающим образом. Хотя поля симметричны, фокусирующее действие первой части линзы больше, чем рассеивающее действие второй, так как в первой части электроны двигаются медленнее. Таким образом, бипотенциальная линза в целом действует как собирательная.

Для точной фокусировки используется свойство бипотенциальной линзы изменять фокусное расстояние в зависимости от отношения потенциалов на цилиндрах U_{a2}/U_{a1}. Обычно потенциал второго цилиндра (второго анода) берется постоянным, а потенциал первого цилиндра (первого анода) изменяется для осуществления фокусировки. Поэтому первый цилиндр часто называют *фокусирующим электродом.*

Электромагнитная линза. Тонкая магнитная линза (рис. 3.5) образуется магнитным полем, создаваемым короткой фокусирующей катушкой, длина которой существенно меньше ее диаметра. Поле такой катушки действует лишь на незначительной части траектории полета электронов на пути от катода кинескопа до его экрана. Как «предмет» (кроссовер), так и его изображение

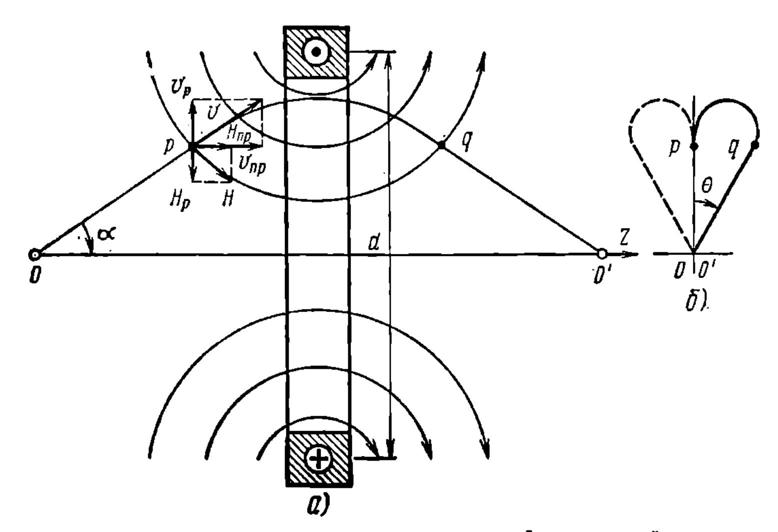


Рис. 3.5. Фокусирующее действие тонкой магнитной линзы

на экране, создаваемое такой линзой, находится вне ее поля. Электроны, выходящие из точки O со скоростью v под некоторым углом α к оси линзы, сначала, находясь вне поля линзы, двигаются прямолинейно. Затем, входя в область действия поля линзы, электроны начинают подвергаться в соответствии с выражением (1.5) воздействию силы, направленной перпендикулярно векторам v и H (на рис. 3.5 от плоскости чертежа к читателю). В результате воздействия этой силы электроны приобретают круговую вращательную составляющую скорости v_θ. Взаимодействие этой составляющей скорости с продольной (осевой) составляющей магнитного поля $H_{пр}$ приведет в свою очередь к появлению новой силы, направленной к оси кинескопа и создающей таким образом фокусировку луча.

За средней плоскостью катушки направление радиальной составляющей поля $H_р$ меняется на обратное (здесь она направлена от оси). Это приведет к изменению направления силы, создающей вращательную составляющую скорости, вследствие чего последняя начнет уменьшаться по величине, но не изменит своего направления, и направление силы, прижимающей электроны к оси кинескопа, останется неизменным. При выходе из поля катушки (точка q на рис. 3.5) электроны опять начнут двигаться прямолинейно.

Так как с удалением от оси OO' радиальная составляющая магнитного поля $H_р$ возрастает, то возрастает и сила, прижимающая электроны к оси кинескопа. Поэтому на электроны, вылетающие под большим углом из точки O, действует бо́льшая прижимающая сила, и все они пересекаются с осью в одной и той же точке O', давая изображение точки O.

Если смотреть вслед летящему электрону, то проекция его траектории на плоскость, перпендикулярную оси кинескопа, имеет вид, показанный на рис. 3.5*б*. До попадания в поле линзы электроны движутся прямолинейно и немного поднимаются над осью OO' (до точки p). С момента, когда поле начинает оказывать свое влияние, траектория электронов начнет закручиваться и при достаточной напряженности поля «закрутится» настолько, что вместо удаления от оси будет приближаться к ней. Выйдя из поля линзы (в точке q), электроны пройдут прямолинейно некоторый участок и в точке O' пересекут ось линзы.

До входа в поле линзы вектор скорости лежит в плоскости чертежа на рис. 3.5*а* и совпадает с вертикальной осью на рис. 3.5*б*. При выходе из поля линзы плоскость, в которой лежит вектор скорости, поворачивается вокруг оси Z на некоторый угол θ. При изменении направления тока через катушку одновременно изменятся направления продольной составляющей магнитного поля $H_{пр}$ и вращательной составляющей скорости v_θ. Направление силы, обусловленной взаимодействием этих составляющих, не изменится и будет по-прежнему прижимать электроны к оси кинескопа. Отличие заключается лишь в том, что «закручивание» элек-

тронов происходит в другую сторону, как показано на рис. 3.5б пунктиром.

Фокусное расстояние тонкой магнитной линзы может быть рассчитано по следующей формуле:

$$f_{д} \approx \frac{8m}{3\pi^3 e \mu_0^2} \frac{U_а d}{(I w)^2} \approx 49 \cdot \frac{U_а d}{(I w)^2}, \qquad (3.1)$$

где $U_а$ — ускоряющее напряжение, В; $\mu_0 = 10^7$ — магнитная проницаемость вакуума; $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл — заряд и $m = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг — масса электрона; d — средний диаметр фокусирующей катушки, см; Iw — число ампер-витков катушки.

Практически коэффициент, входящий в приведенную формулу, должен быть взят несколько большим (примерно 50—55).

Для лучшей концентрации фокусирующего поля в нужной области (в горловине трубки), а также для некоторой защиты области фокусировки от полей рассеяния отклоняющих катушек фокусирующие катушки обычно заключают в магнитный экран с необходимым воздушным зазором для выхода поля. Экраны изготавливают из мягких сортов стали. Применение экранов позволяет заметно снизить (в 1,3—1,5 раза) число ампер-витков катушки и потребляемую ею мощность.

Сравнение свойств линз с электростатической и магнитной фокусировкой. По сравнению с электромагнитной электростатическая линза требует для фокусировки несравненно меньшую мощность, имеет меньшие габариты и массу, менее критична к значению питающего напряжения, не требует расхода сравнительно дорогого медного провода. Кроме того, работа электростатической линзы более стабильна во времени. Ток через фокусирующую катушку, установленный при включении телевизора, вызывает нагрев катушки, вследствие чего сопротивление ее возрастает, а ток через нее падает. Это обстоятельство требует периодической подрегулировки фокусировки или применения специальных схем стабилизации тока через фокусирующую катушку.

Но в кинескопах с электростатической фокусировкой конструкция электронного прожектора получается несколько более сложной, требующей более точного изготовления, а потому и более дорогой.

В результате продолжительного соперничества достоинства кинескопа с электростатической фокусировкой оказались более существенными и в настоящее время в бытовых телевизорах они получили исключительное применение. Кинескопы с магнитной фокусировкой сохранились лишь в некоторых специальных системах.

Свойства и характеристики экрана. Рассмотрим свойства, особенности и характеристики экрана кинескопа, в основном определяемые его покрытием — люминофором.

Требования к люминофорам. Светиться под влиянием электронной бомбардировки могут почти все неорганические и

многие органические вещества. Однако использовать в качестве люминофоров оказалось возможным лишь вещества, обладающие достаточно высокой интенсивностью свечения, длительным сроком службы, большим коэффициентом вторичной эмиссии при высоких скоростях бомбардирующих электронов, дающие излучение в заданной области спектра (нужного цвета) со свойствами, обеспечивающими подходящее послесвечение. Кроме того, для использования в электровакуумных приборах люминофор должен обладать хорошими вакуумными свойствами: иметь чрезвычайно малую упругость паров, легче освобождаться от остатков газа, быть достаточно термостойким, чтобы выдерживать длительный нагрев прибора до 350—450°C в процессе его изготовления. К веществам, в достаточной степени удовлетворяющим перечисленным требованиям, относятся сульфиды, силикаты, оксиды и фосфаты металлов цинка, кадмия, магния и бериллия. Добавляя к основному веществу люминофора небольшие количества (доли процента) активаторов — серебра, меди, марганца и другие, можно значительно повысить интенсивность излучения и добиться при этом нужного цвета.

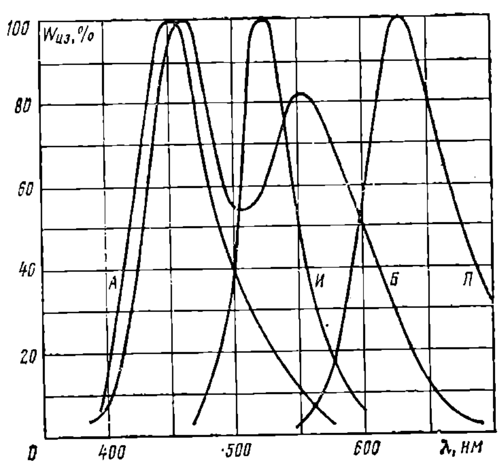


Рис. 3.6. Спектральные характеристики излучения экранов типа А (синего свечения), типа Б (белого свечения), типа И (зеленого свечения) и типа П (красного свечения)

Цвет свечения экрана. Цвет и спектральный состав излучения экрана определяется химическим составом люминофора (основного вещества и активатора) и технологией его изготовления. Большинство люминофоров дают излучение с непрерывным спектром в некоторой полосе частот. Для наглядности зависимость интенсивности излучения от длины световой волны изображают в виде кривых, называемых спектральными характеристиками излучения люминофоров. Эти характеристики для основных типов телевизионных экранов приведены на рис. 3.6.

Для получения свечения белого цвета, строго говоря, необходимо равномерное излучение люминофора в видимом участке спектра. Однако изготовить экран с абсолютно равномерным излучением оказалось затруднительным. Пришлось удовлетвориться экраном с двугорбой кривой излучения, дающим белое свечение со слегка голубоватым оттенком.

Яркость экрана. Яркость свечения экрана может быть найдена по следующей эмпирической формуле:

$$B = A_0 j (U_a - U_0)^n, \qquad (3.2)$$

где j — плотность тока электронного луча; $U_а$ — разность потенциалов между катодом и экраном; U_0 — пороговое напряжение, при котором начинается возбуждение люминофора; A_0 и n — коэффициенты, зависящие от свойств люминофора.

Значение n колеблется в пределах от 1,5 до 2,8. При расчетах приближенно принимают $n=2$, при этом яркость находится в квадратичной зависимости от ускоряющего напряжения; U_0 составляет сотни вольт, т. е. значительно меньше $U_а$, достигающего 6—25 кВ. Поэтому можно считать, что

$$B \approx A_0 j U^2_а. \quad (3.3)$$

Если площадь светящегося пятна равна $s_п$ и плотность тока j по этой площади постоянна, то ток электронного луча $i_л = js_п$, а сила света в пятне

$$I_{св} = s_п B = s_п A_0 j U^2_а = A_0 i_л U^2_а. \quad (3.4)$$

Эффективность и светоотдача экрана. Обозначим $A_0 U_а = A$, тогда сила света, даваемая люминофором, определяется как $I_{св} = A i_л U_а = AP$, где P — мощность электронного луча, а A — коэффициент светоотдачи, равный $I_{св}/P$, кд/Вт, и показывающий, свет какой силы дает каждый ватт мощности электронного луча. Коэффициент светоотдачи A составляет в неалюминированных кинескопах 2—3 кд/Вт, а в алюминированных (см. ниже) 3—5 кд/Вт.

Сила света, даваемая светящимся пятном кинескопа, при развертке распределяется по всей площади экрана $b \times h$ (где b — ширина, а h — высота экрана), и поэтому средняя яркость экрана кинескопа, кд/м², будет

$$B_{ср} = \frac{I_{св}}{bh} = \frac{A i_л U_а}{bh}. \quad (3.5)$$

Эффективность преобразования электрической энергии бомбардирующих электронов в световую энергию относительно низка. Основная доля энергии электронного луча расходуется на нагревание люминофора и на вторичную эмиссию электронов. В световую энергию превращается всего лишь 1—10% (при ускоряющих напряжениях 12—80 кВ).

Послесвечение экрана. Свечение люминофоров возникает с началом бомбардировки их электронами не мгновенно, а с некоторым, хотя и весьма малым запаздыванием (инерционностью). Гораздо бо́льшая инерционность наблюдается при исчезновении свечения после прекращения бомбардировки люминофора электронами. Время ослабления свечения до 1% после прекращения возбуждения называется *временем послесвечения*. Большое время послесвечения снижает заметность мелькания изображения при смене кадров, но может привести к смазыванию быстро перемещающихся деталей изображения. Поэтому в кинескопах для бытовых телевизоров желательно, чтобы время послесвечения люминофора приближалось к длительности передачи одного кадра (двух полукадров) изображения.

Люминофоры делятся на пять групп в зависимости от времени послесвечения, с:

1. Очень короткое, менее . . . . 10^{-5}
2. Короткое . . . . 10^{-5}—10^{-2}
3. Среднее . . . . 10^{-2}—10^{-1}
4. Длительное . . . . 0,1—16
5. Весьма длительное, более 16

Условные обозначения экранов и трубок. Люминофоры, применяемые в кинескопах, нередко имеют довольно сложный состав. Например, люминофор, применяемый в черно-белых кинескопах, состоит из механической смеси сульфида цинка, активированного серебром, сульфида цинка, активированного цинком в процессе термической обработки, и сульфида кадмия, активированного серебром. Химическая формула такого люминофора $ZnS \cdot Ag$, $ZnS \cdot Zn$, $CdS \cdot Ag$.

В электронной промышленности для краткости типы экранов принято обозначать условно в зависимости от особенностей применяемого люминофора. Рассмотренный экран, применяемый в черно-белых кинескопах, обозначается буквой Б.

Экраны, дающие излучения трех основных цветов: красного, зеленого и синего, используемые в цветном телевидении, обозначают соответственно буквами П, И и А.

Основные характеристики этих экранов приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Тип экрана	Б	П	И	А
Цвет свечения	Белый	Красный	Зеленый	Синий
Состав люминофора	$ZnS \cdot Ag$, $ZnS \cdot Zn$, $CdS \cdot Ag$	Фосфат цинка $Zn_3(PO_4)_2Mn$	Виллемит $Zn_2SiO_4 \cdot Mn$	Сульфид цинка $ZnS \cdot Ag$
Максимумы спектральной характеристики, нм	460 и 670	630	520	150
Время послесвечения, с	10^{-5}—10^{-2}	10^{-2}—10^{-1}	10^{-2}—10^{-1}	10^{-5}—10^{-2}
Коэффициент светоотдачи, кд/Вт	5—7	1	2—3,5	0,5—2

В СССР принята система сокращенных условных обозначений электронных лучевых трубок, состоящая из четырех элементов: диаметр или диагональ трубки; назначение трубки (ЛК — лучевой кинескоп, ЛО — лучевая осциллографическая, ЛМ — лучевая с магнитным отклонением и ЛИ — лучевой иконоскоп); порядковый номер разработки; тип люминофора, например Б — белого свечения (это обозначение не обязательное).

Кинескоп 59ЛК2Б означает: лучевой кинескоп с диагональю экрана 59 см, вторая модель, цвет свечения экрана — белый.

Развитие кинескопов. В процессе своего развития кинескопы видоизменялись и совершенствовались. Рассмотрим важнейшие направления этого усовершенствования.

Ионная эмиссия. Электроны луча, пролетая от катода к аноду кинескопа, вызывают ионизацию оставшихся в баллоне молекул газа, вследствие чего внутри кинескопа образуются положительные ионы, которые ускоряются приложенным напряжением и бомбардируют катод. Бомбардировка катода положительными ионами вызывает эмиссию из катода отрицательных ионов. Ускоряясь анодным напряжением, отрицательные ионы вместе с электронами бомбардируют экран. Обладая значительно большей массой (в тысячи раз больше массы электронов), ионы почти не отклоняются и не фокусируются магнитными полями и бомбардируют только центральную часть экрана, постепенно разрушая ее и ослабляя ее свечение. На экране образуется более слабо светящееся пятно, называемое ионным пятном.

Ионные ловушки. Для предохранения от образования ионного пятна в старых типах трубок несколько видоизменяли конструкцию электронного прожектора, дополняя ее так называемой ионной ловушкой. Действие всех типов ионных ловушек основано на некотором искривлении оси электронного прожектора, так чтобы электроны и отрицательные ионы отклонялись от оси и попадали не на экран, а, например, на анод или на ускоряющий электрод кинескопа (рис. 3.7). Затем специальным магнитом электронный пучок отклоняется и направляется по оси трубки на экран. Неотклоняемые магнитным полем ионы по-прежнему уходят на один из электродов прожектора и не повреждают экрана.

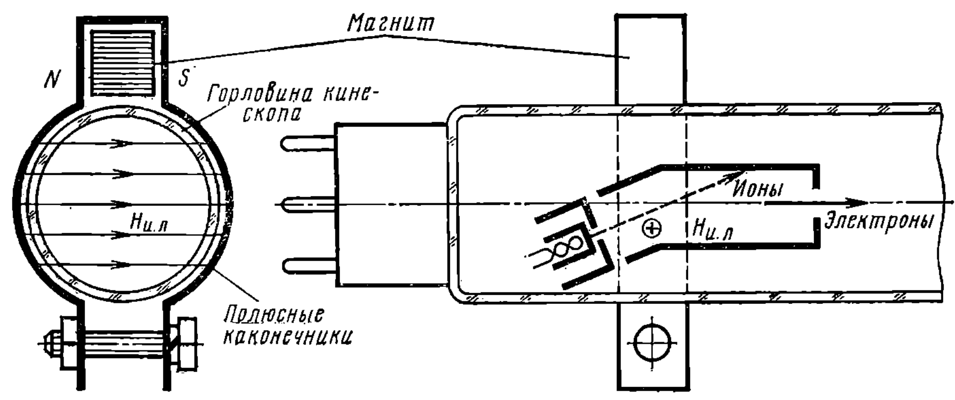


Рис. 3.7. Вариант устройства прожектора с ионной ловушкой и корректирующим магнитом

В современных кинескопах для защиты от ионной эмиссии производят металлизацию (алюминирование) экрана, которая, кроме значительного ослабления ионного пятна, позволяет улучшить еще многие светотехнические характеристики кинескопов.

Алюминирование экранов. Любая точка экрана при падении на нее электронного луча возбуждается и излучает свет.

Этот свет расходится во всех направлениях, поэтому приближенно можно считать, что примерно половина света уходит в сторону зрителя, а другая половина — внутрь трубки. При этом не только бесполезно теряется половина светового потока, но, попадая на экран непосредственно из-за его кривизны (рис. 3.8, точка *1*) или после отражения от внутренних стенок баллона (рис. 3.8, точки *2*), световой поток создает паразитную внутреннюю засветку изображения, снижающую его контрастность.

Если предположить, что яркость белых участков изображения $B_{\text{макс}}=100$ кд/м^2, а яркость черных $B_{\text{мин}}=2$ кд/м^2, то при отсутствии засветки контрастность изображения была бы $K=B_{\text{макс}}/B_{\text{мин}}=100/2=50$. При наличии засветки яркостью $B_{\text{п}}$, равной всего лишь 5 кд/м^2, контрастность $K_1=(B_{\text{макс}}+B_{\text{п}})/(B_{\text{мин}}+B_{\text{п}})=(100+5)/(2+5)=15$, т. е. снижается более чем в 3 раза.

Несколько ослабить внутреннюю засветку экрана можно, подбирая оптимальную форму баллона кинескопа. Из рис. 3.8 видно,

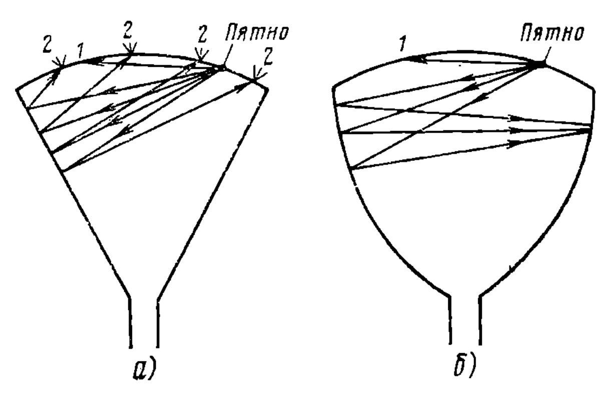


Рис. 3.8. Влияние формы баллона кинескопа на паразитную засветку экрана

что при конусообразной форме баллона на экран попадает свет как без отражений (благодаря кривизне экрана), так и после однократных отражений от боковых стенок баллона. Придав соответствующую закругленную форму баллона, можно добиться, чтобы свет попадал обратно на экран только после многократных отражений от стенок баллона. А так как стенки баллона покрыты темным веществом — аквадагом, имеющим коэффициент отражения около 5%, то внутренняя засветка при этом оказывается заметно ослабленной.

Практически полностью устранить внутреннюю засветку экрана можно, наложив на него с внутренней стороны тонкую (0,05—0,5 мкм) металлическую (обычно алюминиевую) зеркальную пленку. Эта пленка отражает свет, направлявшийся без нее внутрь баллона, в результате чего световой поток, направленный к зрителю, увеличивается и яркость экрана возрастает почти вдвое (рис. 3.9). Значительно возрастает также контрастность изображений. Правда, алюминиевая пленка несколько снижает энергию

бомбардирующих электронов, и поэтому при низких ускоряющих напряжениях светоотдача неалюминированного экрана оказывается выше алюминированного (рис. 3.10). Но при скоростях, больших 4 кВ, электроны легко проходят через алюминиевую пленку

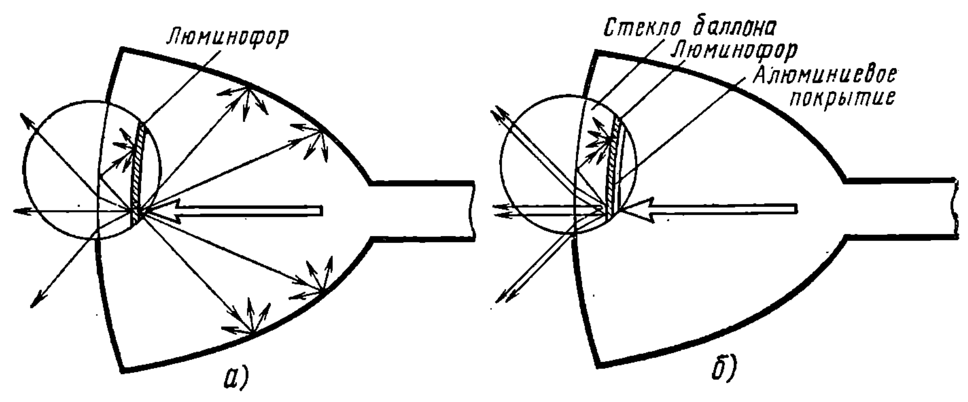


Рис. 3.9. Распределение света в кинескопах: *а* — неалюминированном; *б* — алюминированном

и эффективно возбуждают люминофор. Светоотдача экрана возрастает почти вдвое.

Металлизация экрана, кроме указанных достоинств, позволяет осуществлять бомбардировку экрана электронами с высокими скоростями, тогда как скорость бомбардировки неалюминированных экранов ограничена критическим потенциалом $U_{кр2}$, при котором коэффициент вторичной эмиссии люминофора $\sigma = 1$.

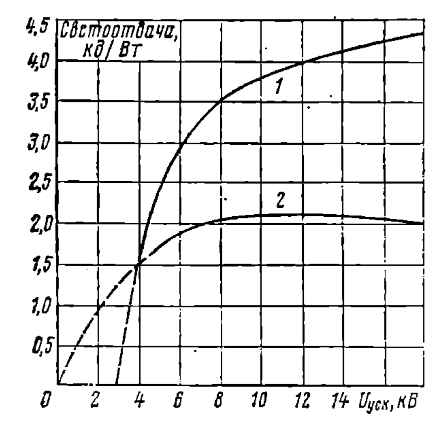


Рис. 3.10. Зависимость светоотдачи алюминированного *1* и неалюминированного *2* экранов от ускоряющего напряжения

Нейтральные фильтры. Контрастность телевизионных изображений, кроме вышеописанного, может снижаться из-за засветки от внешних источников света (ламп, окон и т. п.), а также из-за так называемых ореолов (рис. 3.11). Как видно из рисунка, лучи, падающие по нормали на поверхность раздела стекло — воздух, не меняя направления, выходят из экрана кинескопа наружу. Лучи, падающие на поверхность раздела под некоторым углом θ, преломляются и выходят под большим углом к нормали. Лучи, падающие на эту поверхность под так называемым критическим углом $\theta_{кр}$, не выходят наружу, а скользят по поверхности раздела. Наконец, при падении лучей под углом, бóльшим $\theta_{кр}$, происходит так называемое полное внутреннее отражение, и лучи возвращаются обратно на экран, образуя вокруг светящегося пят-

на кольцеобразную засвеченную область — ореол. Поскольку светящиеся пятна покрывают значительную площадь изображения, а каждое пятно образует ореол, то вся совокупность ореолов так же, как и другие типы засветок, значительно снижает контрастность изображений (особенно их мелких деталей).

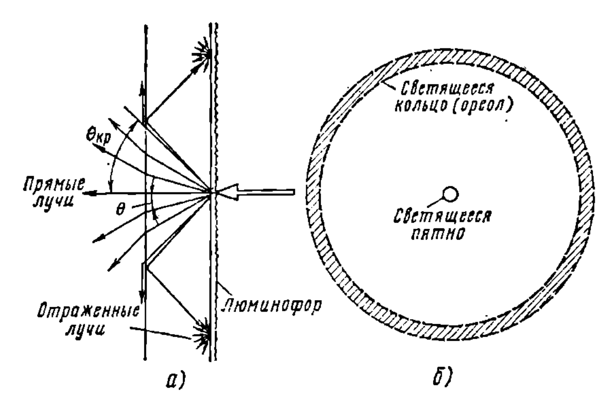


Рис. 3.11. Образование засветки экрана от ореола:
а — прохождение лучей в стекле экрана; *б* — ореол

Ослабить засветку от ореолов и внешних источников можно, изготовив переднее стекло кинескопа из дымчатого стекла, чтобы оно служило нейтральным оптическим фильтром. Коэффициент прозрачности такого фильтра $\tau = 0{,}5 \div 0{,}7$. Свет от люминофорного покрытия проходит через стекло только один раз, тогда как свет от внешних источников проходит через него дважды, а от ореолов даже трижды, да к тому же не под прямым углом. Поэтому засветка изображений от этих источников заметно ослабляется. Недостаток применения нейтральных фильтров заключается в снижении яркости изображений в $1/\tau$ раз, в связи с чем применять их целесообразно лишь одновременно с алюминированием экрана, компенсирующим указанную потерю яркости.

На конической части кинескопов наносится внешнее токопроводящее покрытие, выполняющее функции одной из обкладок конденсатора фильтра высокого напряжения.

Формат экрана кинескопов с углом отклонения в 110° из технологических соображений сделан не 4 : 3, как во всех предшествующих кинескопах, а 5 : 4. Если в таком случае установить в телевизоре размер изображения во всю высоту экрана, то часть изображения по горизонтали выйдет за пределы экрана. Последнее не очень существенно, так как события и объекты телевизионной передачи, представляющие наибольший интерес, как правило, передаются оператором камеры в центральной части кадра. В то же время так как часть изображения, вышедшая за экран, все равно потеряна, то можно за счет этого увеличить длительность обратного хода строчной развертки (вместо 14% от периода стро-

ки взять 22%). Оказалось, что это позволяет упростить конструкцию выходного строчного трансформатора и снизить потребляемую строчной разверткой мощность. Чтобы избежать при этом появления на экране следов обратных ходов (поскольку гасящие импульсы, передаваемые в составе полного телевизионного сигнала, оказываются недостаточно широкими), гашение обратных ходов приходится осуществлять местными импульсами, вырабатываемыми в телевизоре каскадом строчной развертки.

Взрывозащита кинескопов. Как известно, атмосферное давление составляет около 1 кг/см^2, поэтому только экран кинескопа 47ЛК1Б площадью 30,5×38,4 см испытывает давление более одной тонны. Это обстоятельство вынуждает принимать меры по обеспечению прочности баллона кинескопа во избежание его раздавливания и взрыва. Однако, несмотря на принимаемые меры, в процессе эксплуатации время от времени происходили взрывы кинескопов, наносившие травмы зрителям и повреждавшие детали телевизоров. Взрывы происходили как под действием ударов или царапин твердыми предметами при ремонте и т. п., так и без каких-либо явных механических воздействий, лишь под влиянием неизбежных изменений окружающей температуры, влажности и атмосферного давления.

Первым методом защиты от взрывов было применение в телевизорах защитных стекол достаточной толщины и прочности. Но защитные стекла пылились, теряли свою прозрачность, давали отражения и засветки и не защищали детали телевизора. Поэтому вскоре было предложено заменить защитное стекло прозрачной поливинилхлоридной пленкой. Но как показала практика, пленка также недостаточно хорошо защищала от взрывов.

Проведенные исследования показали, что наиболее слабым местом кинескопа является область сварки конуса с экраном. Именно в этой области образовывались неоднородности и опасные напряжения на растяжения, приводящие к взрыву. Далее оказалось, что, наложив на эту «слабую» область металлический бандаж и заполнив зазор между бандажом и кинескопом специальным наполнителем, имеющим такой же коэффициент расширения, как и у стекла, можно резко снизить вероятность взрывов. После затвердевания наполнителя взрывоопасная область оказалась изолированной от внешних воздействий, а имеющиеся в ней напряжения — в значительной степени скомпенсированными. Кинескопы с подобной защитой взрываются чрезвычайно редко, вследствие чего получили наименование взрывобезопасных.

Прогресс в развитии кинескопов. Эволюция в производстве кинескопов характеризовалась неуклонным ростом размеров их экранов (от 18 до 67 см). Одновременно увеличивался угол отклонения луча — 40, 55, 70, 90 и 110°, что приводило к уменьшению длины кинескопов и габаритов телевизоров. Кроме того, велись работы по созданию малогабаритных кинескопов с размерами экранов 6—32 см. Первые кинескопы были с круглыми экранами, электромагнитной фокусировкой и отклонением луча,

с простейшим триодным прожектором. Позднее были созданы кинескопы с ионными ловушками. Затем была разработана и стала выпускаться новая серия кинескопов с электростатической фокусировкой, прямоугольной формой экрана, углом отклонения 70° и размерами диагоналей 35, 43 и 53 см (два последних размера относятся к кинескопам, выпускаемым как в стеклянном, так и в металлостеклянном оформлении). Экраны трубок сначала изготовлялись из прозрачного стекла, но затем их стали делать из дымчатого. Электронный прожектор в этих трубках был пятиэлектродный с ионной ловушкой. Кроме катода, управляющего электрода и анода он имел еще ускоряющий (экранирующий) и фокусирующий электроды. Первый повышал чувствительность кинескопа и обеспечивал более равномерную фокусировку луча по поверхности экрана. Подбором оптимального напряжения на втором достигалась необходимая фокусировка луча.

Затем были выпущены прямоугольные кинескопы с углом отклонения луча 110° (43ЛК6Б, 43ЛК9Б и 53ЛК5Б). Наконец, в последние годы были разработаны и в настоящее время выпускаются новые кинескопы с углом отклонения 110° и размерами диагоналей 47, 49 (50), 59, 61 и 67 см.

Как и все прямоугольные кинескопы, новые кинескопы имеют электростатическую фокусировку. Для повышения эффективности отклонения луча в кинескопах с углом отклонения 110° диаметр горловины уменьшен до 29 мм по сравнению с 38 в кинескопах с углом 70°. Переход горловины в конус имеет параболическую форму, что снижает вероятность задевания электронным лучом стенок кинескопа при предельных углах отклонения и срезания в связи с этим углов растра. Все современные кинескопы имеют алюминированные экраны из дымчатого стекла.

Схема включения кинескопа. Для нормальной работы кинескопа на все его электроды должны быть поданы соответствующие напряжения.

Рассмотрим в качестве примера схему включения кинескопа 61ЛК1Б в телевизоре УПТ-61-II-1/2.

На подогреватель катода (рис. 3.12) подается напряжение накала (6,3 В от отдельной обмотки силового трансформатора). На второй анод трубки подается высокое напряжение (14 кВ) от выпрямителя, собранного по схеме утроения и питаемого напряжением импульсов обратных ходов с повышающей обмотки выходного трансформатора строчной развертки. На ускоряющий электрод подводится постоянное напряжение, получаемое от выпрямления импульсов строчной развертки диодом $3Д_9$. Фокусировка электронного луча осуществляется подбором на фокусирующем электроде оптимального напряжения (0, 150 и 500 В).

Сигнал изображения подается на катод кинескопа с нагрузки выходного каскада усилителя ($2R_{40}$, $2R_{42}$) через устройства ограничения тока луча кинескопа ($2Д_3$ и $2C_{48}$) и защиты экрана кинескопа от прожога ярким пятном при выключении телевизора ($2R_{45}$, $2R_{46}$ и $2C_{49}$).

Яркость свечения экрана регулируется в цепи модулятора кинескопа потенциометром $2R_{122}$ «Яркость». Напряжение, подаваемое с этого потенциометра, должно быть несколько меньше постоянного напряжения на катоде кинескопа, что достигается соответствующим подбором резисторов $2R_{52}$ и $2R_{130}$ и регулировкой $2R_{53}$.

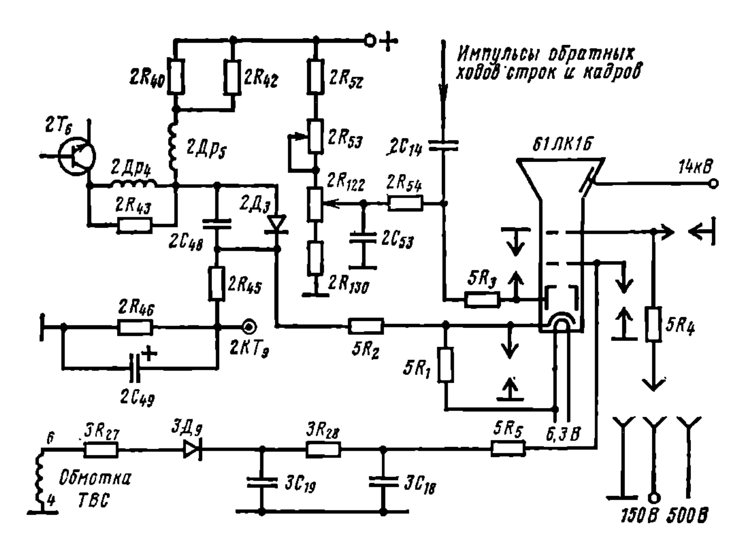


Рис. 3.12. Схема включения кинескопа 61ЛК1Б в телевизоре УПТ-61-II-1/2

Гашение обратных ходов луча кинескопа осуществляется импульсами обратных ходов строчной и кадровой разверток, которые через конденсатор $2C_{14}$ подаются на управляющий электрод кинескопа.

Фильтр $2R_{54}$—$2C_{53}$ препятствует проникновению гасящих импульсов с управляющего электрода кинескопа в цепи питания.

Основные параметры и характеристики кинескопов. Основные параметры и характеристики кинескопов приводятся в специальных справочниках или в паспортах, прилагаемых к кинескопам обычно по такой схеме: 1. Общие данные. 2. Электротехнические и светотехнические данные. 3. Предельно допустимые данные.

Чтобы дать представление об этих данных, приведем их в качестве примера для кинескопа 61ЛК1Б.

Общие данные

Катод	оксидный, косвенного накала
Фокусировка луча	электростатическая
Отклонение луча	магнитное
Угол отклонения луча по диагонали, град	110
Экран	алюминированный типа Б
Цвет свечения	белый
Размер изображения, мм	481×375
Масса кинескопа (максимальная), кг	14,5

Электротехнические и светотехнические данные

Напряжение накала, В	6,3
Ток накала, А	0,3
Напряжение на ускоряющем электроде, В	0—400
Напряжение на ускоряющем электроде, В	400
Напряжение на аноде, кВ	18
Отрицательное напряжение на управляющем электроде, В	40—77

Предельно допустимые данные напряжения приведены в таблице.

Таблица

Электроды кинескопа	Напряжение, В	
	Наибольшее	Наименьшее
Анод	$14 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$
Ускоряющий электрод	350	700
Фокусирующий электрод	—500	1000
Модулятор	—150	0
Накал	5,7	6,9

Кроме приведенных данных, важными характеристиками кинескопа являются модуляционная и световая.

Модуляционная характеристика. Основной характеристикой кинескопа является зависимость тока луча от напряжения на управляющем электроде (модуляторе $U_м$), называемая модуляционной характеристикой. Так как измерить ток луча $i_л$ в чистом виде довольно затруднительно, в справочниках часто в качестве модуляционной характеристики приводится зависимость тока катода $i_к$ от напряжения на модуляторе. Ток катода несколько больше тока луча (добавляются токи арматуры кинескопа: ускоряющего и фокусирующего электродов). Но так как разница между $i_л$ и $i_к$ невелика, характеристики $i_л = f(U_м)$ и $i_к = f(U_м)$ можно считать практически совпадающими.

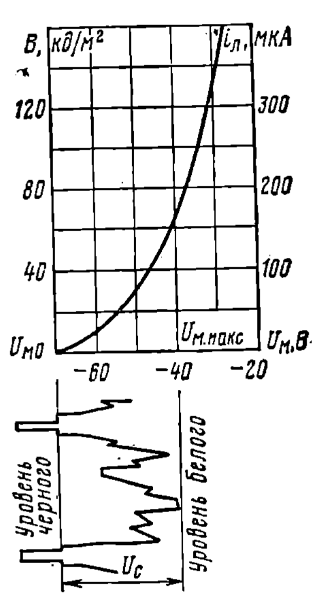


Рис. 3.13. Световая $B = f(U_м)$ и модуляционная $i_л = f(U_м)$ характеристики кинескопа. Внизу показан сигнал изображения, подаваемый на кинескоп для обеспечения максимальной контрастности

Световая характеристика. Поскольку яркость свечения экрана пропорциональна току луча, то кривая зависимости яркости от напряжения на модуляторе, называемая световой характеристикой кинескопа, подобна модуляционной характеристике (рис. 3.13).

Световая характеристика кинескопа нелинейна и с достаточной точностью описывается степенной функцией $B = AU^{\gamma}_м$, где

A—коэффициент пропорциональности, определяющий размерность; γ — показатель степени, имеющий значение от 1,5 до 2,5 в зависимости от свойств люминофора и условий возбуждения.

Рабочий участок световой характеристики ограничивается слева напряжением отсечки тока луча $U_{м.о}$, а справа $U_{м.макс}$, при котором электронный луч начинает расфокусировываться, что приводит к снижению четкости, а также к возможности прожигания люминофора.

Сигнал изображения, подаваемый на кинескоп, для обеспечения максимальной контрастности должен иметь размах $U_с = |U_{м.о} - U_{м.макс}|$ и такую полярность, чтобы уровень черного совпадал с $U_{м.о}$, а уровень белого — с максимально допустимым напряжением на модуляторе $U_{м.макс}$ (см. рис. 3.12).

3.2. Отклоняющая система для кинескопов черно-белого изображения

Способы отклонения луча. Хотя известны способы отклонения луча как электрическим, так и магнитным полями, в настоящее время применяют кинескопы только с электромагнитным отклонением. Это обусловлено следующим.

Во-первых, электромагнитное отклонение позволяет получить весьма большие углы отклонения (110° и более) без значительной дефокусировки электронного луча, благодаря чему баллон кинескопа при заданной площади экрана можно сделать компактным (коротким) и легким.

Во-вторых, в кинескопах с электростатическим отклонением на отклоняющие пластины требуется подавать напряжение, составляющее примерно 30% от напряжения на втором (главном) аноде. Если, например, исходя из необходимой яркости и четкости, подать на этот анод напряжение в 16 кВ, то отклоняющее напряжение должно быть более 5 кВ. Получение такого напряжения связано с существенными трудностями. Поэтому в современных телевизорах применяют кинескопы исключительно с магнитным отклонением.

Величина отклонения. Магнитное поле для отклонения лучей в кинескопах образуется парой строчных и парой кадровых отклоняющих катушек, по которым пропускаются импульсы пилообразного тока определенной частоты. Каждая пара катушек располагается по бокам горловины кинескопа так, чтобы их ось проходила перпендикулярно оси кинескопа. Отклонение луча происходит в направлении, перпендикулярном как оси кинескопа, так и оси катушки.

Величина отклонения луча на экране кинескопа — важнейшая характеристика отклоняющей системы. Полагая, что отклоняющее магнитное поле однородно в области, ограниченной проекцией катушек на плоскость чертежа (рис. 3.14), и отсутствует вне этой области, угол отклонения луча может быть определен из выражения

$$\sin\varphi = l/r. \qquad (3.6)$$

Учитывая выражение (1.6), получим

$$\sin\varphi = lH/\sqrt{2\frac{m}{e}U_a}, \tag{3.7}$$

где H — напряженность магнитного поля; l — средняя длина отклоняющих катушек; r — радиус окружности, по которой электрон движется в отклоняющем магнитном поле; e и m — заряд и масса электрона.

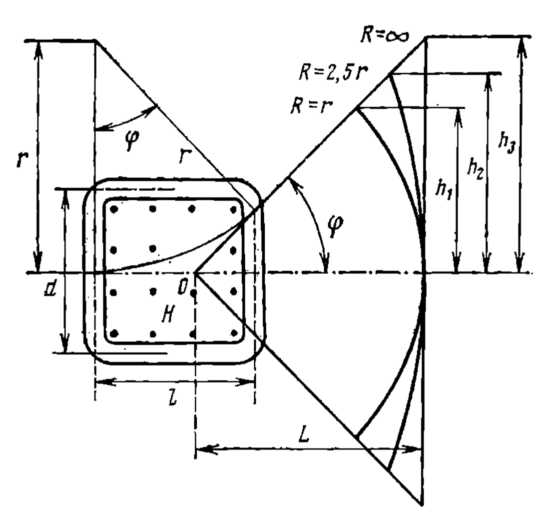


Рис. 3.14. Магнитное отклонение электронного луча

С достаточной для практики точностью величину отклонения луча на экране кинескопа можно найти по формуле

$$h = L\,\mathrm{tg}\,\varphi = L\sin\varphi/\sqrt{1-\sin^2\varphi}, \tag{3.8}$$

где L — расстояние от центра отклонения O (приблизительно от центра отклоняющего поля) до экрана.

Число ампер-витков Iw, необходимых для отклонения луча на величину h, может быть ориентировочно определено по формуле

$$Iw = \frac{\sqrt{2\frac{m}{e}}}{0{,}4\pi}\,\frac{d\sin\varphi}{l}\sqrt{U_a} = 2{,}7\,\frac{d}{l}\sin\varphi\sqrt{U_a}, \tag{3.9}$$

где d — средний диаметр отклоняющей системы.

При выводе этой формулы сделаны некоторые допущения. Практически число ампер-витков строчных отклоняющих катушек следует брать в 1,4 раза, а кадровых в 1,2 раза больше числа ампер-витков, полученных из (3.9).

Требования к отклоняющим системам. При создании отклоняющих систем приходится заботиться о выполнении нелегких, а подчас и противоречивых требований. К важнейшим из них относятся:

1. Максимальная эффективность, т. е. получение заданного угла отклонения луча при возможно меньшей затрате электромагнитной энергии.

2. Минимальные геометрические искажения растра и ухудшение фокусировки, вызванные отклоняющими катушками.

Далее следует целый ряд требований общего характера: электрическая прочность, простота производства, дешевизна, минимальные масса и габариты и т. п.

Из (3.7) следует, что синус угла отклонения, а значит, и сам угол возрастают с увеличением длины отклоняющих катушек. Поэтому длину катушек выгоднее брать возможно большей. Но этому существует предел, при превышении которого электронный луч начинает задевать за стекло горловины и края растра будут срезаны (рис. 3.15*а*). Подобное затемнение углов растра может также произойти, если отклоняющие катушки неправильно (невплотную к конусу) надеты на горловину трубки (рис. 3.15*б*).

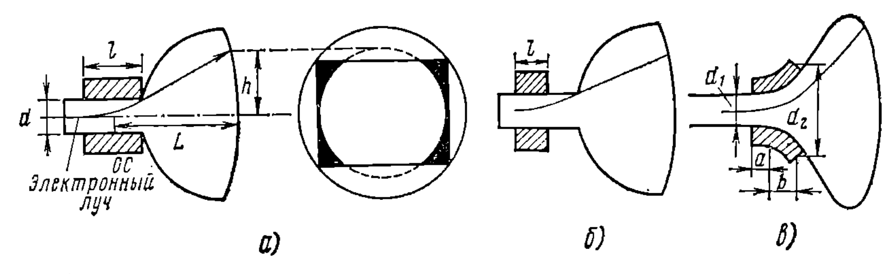


Рис. 3.15. Искажение растра:
а — затенение углов растра из-за большой длины отклоняющих катушек *l*; *б* — из-за неплотно надетой отклоняющей системы; *в* — отсутствие затенения в кинескопе с плавным переходом горловины в раструб и отклоняющей катушкой с расширяющейся частью

Предельная длина отклоняющих катушек может быть найдена из выражений

$$l_{стр} = \frac{0,8\,d_0}{2}\operatorname{ctg}\frac{\varphi_{стр}}{2};\quad l_{кадр} = \frac{0,6\,d_0}{2} = \operatorname{ctg}\frac{\varphi_{кадр}}{2}, \tag{3.10}$$

где $\varphi_{стр}$ и $\varphi_{кадр}$ — углы отклонения по строкам и по кадрам от центра в одну сторону; d_0 — внутренний диаметр горловины кинескопа.

Очевидно, что чем в большем объеме создается отклоняющее магнитное поле, тем большая для этого потребуется энергия. Поэтому для повышения эффективности отклоняющих катушек их диаметр следует делать возможно меньше (лишь бы катушки можно было надеть на горловину кинескопа). Для большей концентрации поля внутри горловины кинескопа отклоняющие катушки помещают в ферритовый панцирь (экран). Для более плотного прилегания катушек к горловине кинескопа и ослабления влияния их торцовых краев на отклоняемый луч (уменьшения краевых эффектов) последние отгибаются от горловины кинескопа наружу.

Особенно важно получить высокую эффективность в строчных отклоняющих катушках, где из-за высокой частоты развертки (более чем в 300 раз выше частоты кадровой развертки) реактивная мощность весьма высока. Для создания необходимых отклоняющих токов приходится применять мощные лампы или транзисторы.

Искажения изображения, зависящие от отклонения луча. Чаще приходится сталкиваться с симметричными искажениями и искажениями формы растра.

Симметричные искажения. Если радиус кривизны экрана R (см. рис. 3.14) равен радиусу отклонения r, то отклонение луча h_1 будет пропорционально напряженности отклоняющего поля H (или отклоняющему току в катушках) и на экране воспроизведется правильный неискаженный растр.

На плоском экране, т. е. при $R=\infty$, как видно из рисунка, с увеличением угла отклонения φ отклонение h_3 будет все больше отличаться от необходимого h_1, в результате чего удаленные от центра экрана части растра будут растягиваться; на изображении появятся симметричные искажения, существо которых поясняет рис. 3.16.

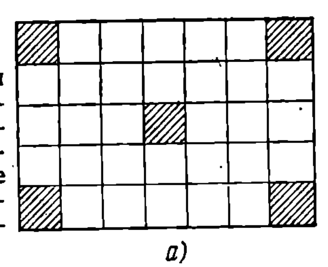
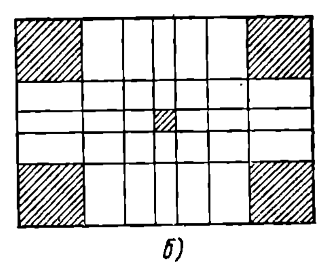



Рис. 3.16. Искажения изображения из-за несовпадения центров кривизны экрана с центром отклонения (симметричные искажения): *а* — неискаженное изображение; *б* — искаженное

Практически экраны делают плоскими только в кинескопах сравнительно небольших размеров (например, в проекционных). В кинескопах большого диаметра и с большими углами отклонения экрана, как правило, делают выпуклыми, но все же радиус их кривизны в 2—3 раза больше радиуса отклонения. Поэтому рассматриваемые симметричные искажения в них имеют место, хотя они и меньше, чем в кинескопах с плоским экраном. Для борьбы с этими искажениями в отклоняющие катушки подают не линейный пилообразный ток, какой был показан на рис. 1.16, а ток S-образной формы.

Искажения формы растра. Одним из важнейших условий получения неискаженного растра является равномерность магнитного поля, создаваемого отклоняющими катушками. Для получения равномерного поля плотность витков в отклоняющих катушках должна быть распределена по окружности горловины согласно косинусоидальному закону (рис. 3.17). Чтобы упростить конструкцию катушек, их иногда изготовляют из отдельных секций, число витков в которых изменяется по указанному закону.

При нарушении этого закона распределения плотности витков в катушках на экране возникают подушкообразные и бочкообразные искажения формы растра.

Существенно уменьшить подушкообразные и бочкообразные искажения можно с помощью корректирующих постоянных маг-

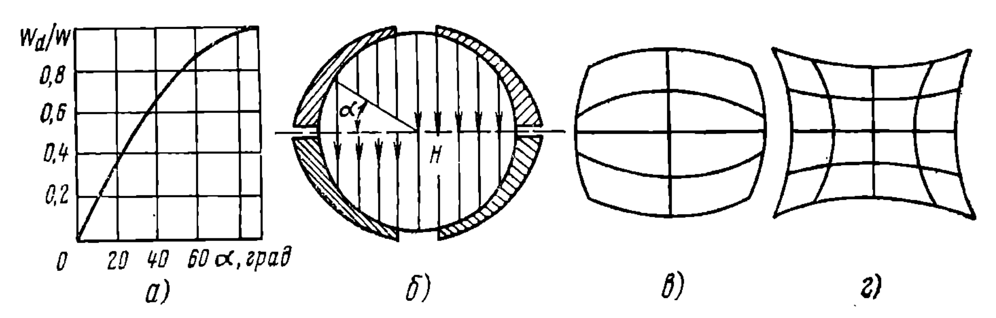


Рис. 3.17. Искажения растра при отклонении распределения витков от оптимального:
а — оптимальное распределение плотности витков отклоняющих катушек; *б* — разрез *ОК*; *в* — искажение типа «бочка»; *г* — искажения типа «подушка»

нитов, укрепленных в передней части отклоняющей системы. Конструкция отклоняющей системы предусматривает возможность вращения магнитов вокруг собственной оси и перемещения их по отклоняющей системе.

Кроме рассмотренных искажений при косом положении электронного прожектора относительно экрана могут возникнуть искажения *трапецеидальные*, а при неправильном взаимном расположении катушек отклоняющей системы — искажения типа *параллелограмма*.

Тороидальные катушки. Отклоняющие катушки, рассмотренные выше, относятся к так называемому «седлообразному» типу. Кроме их, в широкоугольных отклоняющих системах нашли применения катушки тороидального типа (сокращенно ТОР). Такие катушки наматываются на ферритовый кольцеобразный сердечник и соединяются так, чтобы создаваемые ими магнитные потоки были направлены в сердечнике навстречу друг другу и, «выталкиваясь» из сердечника, заполнили горловину кинескопа. Полностью тороидальные отклоняющие системы (строки и кадры), применяемые для черно-белого телевидения, оказались сложными, трудоемкими и малоэффективными. Однако в цветном телевидении их применение позволило упростить сведение лучей, облегчить получение чистоты цвета по полю экрана и обеспечить некоторые другие достоинства. Поэтому такие отклоняющие системы (их называют сокращенно *тор-тор*) получают в цветном телевидении все более широкое распространение.

Повышение эффективности отклоняющих систем. Как уже отмечалось выше, в современных кинескопах с большими экранами угол отклонения доведен до 110° и более. Увеличение угла отклонения от 70 до 110° потребовало при прочих равных условиях уве-

личения отклоняющего тока в 1,44 раза, а отклоняющей мощности — более чем в 2 раза. Поэтому при разработке кинескопов с углом отклонения 110° особенно остро встали проблемы повышения эффективности отклоняющей системы и снижения мощности отклонения.

Для решения этих проблем был уменьшен диаметр горловины кинескопа с 38 до 29,7 мм и осуществлен плавный переход горловины в конус.

Уменьшение диаметра горловины кинескопа потребовало укорочения отклоняющих катушек, так как в противном случае луч задевал бы за горловину и углы растра срезались. Плавный же переход горловины в конус позволил, применив расширяющиеся катушки и надвинув их на конусную часть кинескопа (см. рис. 3.15*в*), избежать срезания углов растра и увеличить длину катушек по сравнению с допустимой при данном диаметре горловины.

Число ампер-витков расширяющихся отклоняющих катушек приближенно может быть найдено по (3.9), в которой вместо l следует взять

$$l_{экв}=a+0{,}5b\,(1+d_1/d_2). \qquad (3.11)$$

(Обозначения, применяемые в данной формуле, показаны на рис. 3.15*в*.)

3.3. Цветной кинескоп с теневой маской и точечным экраном

Масочный кинескоп и его устройство. В подавляющем большинстве современных цветных телевизоров для воспроизведения изображений применяется трехлучевой кинескоп с теневой маской или, как его часто называют, масочный кинескоп. Экран этого кинескопа представляет собой мозаику, состоящую из множества (примерно 1,5 млн.) маленьких кружков люминофора трех типов, дающих при возбуждении электронными лучами свечение красного, зеленого и синего цветов (рис. 3.18). Люминофорные кружочки расположены на экране в определенном порядке, образуя группы, называемые триадами, в которые входит по одному люминофорному кружочку каждого цвета.

Электронно-оптическая система цветного масочного кинескопа состоит из трех самостоятельных прожекторов, создающих три электронных луча. Каждый из прожекторов модулируется «своим» цветным сигналом.

Электронные прожекторы расположены в горловине кинескопа таким образом, что все три сфокусированных луча сходятся в одной точке в плоскости, расположенной вблизи экрана. Для этого электронные прожекторы размещаются симметрично со сдвигом в 120° вокруг продольной оси кинескопа (рис. 3.18*б* и *в*), а оси их наклонены к оси кинескопа под углом около 1°.

В плоскости схождения лучей вблизи экрана размещается теневая маска — тонкая стальная пластина с круглыми отверстия-

ми, обеспечивающими проход электронных лучей к соответствующим кружочкам люминофоров, и предохраняющая от попадания их на люминофорные кружочки чужого цвета. При достаточно точном изготовлении и сборке экрана и маски луч «красного» прожектора попадает только на «красные» точки люминофора, «зеле-

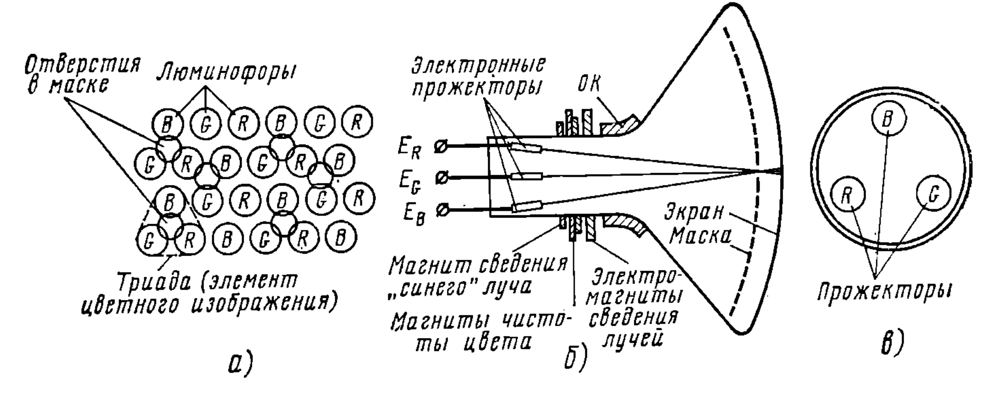


Рис. 3.18. **Трехлучевой масочный цветной кинескоп:**
а — устройство мозаичного экрана; *б* — устройство кинескопа; *в* — расположение электронных прожекторов в горловине кинескопа

ный» луч — на «зеленые» точки и «синий» луч — на «синие» точки.

Число отверстий в маске равно числу триад на экране, т. е. составляет примерно 500 тысяч. Так как размер люминофорных триад чрезвычайно мал, на экране кинескопа происходит пространственное сложение цветов. Если, например, все три цветных кружка светятся с определенными яркостями, то триада даст белое свечение. Если светятся «синий» и «зеленый» кружки, то триада даст голубое свечение. Если светятся «красный» и «синий» кружки, то свечение триады будет пурпурного цвета. Таким образом, в зависимости от напряжения сигналов, модулирующих электронные лучи, при развертке лучей общей отклоняющей системой будет меняться цвет свечения различных участков экрана; на экране получится цветное изображение.

К недостаткам масочных кинескопов следует отнести сложность их изготовления и тяжелый энергетический режим. Последнее обусловлено тем, что прозрачность маски относительно невелика. Около 85% электронного потока попадает на маску, вызывая ее нагрев, и лишь 15%, проходя через отверстия, попадают на экран и вызывают его свечение. Поэтому для получения достаточной яркости свечения экрана в масочных кинескопах приходится увеличивать суммарный ток лучей (до 1000 мкА и более) и повышать напряжение на аноде (примерно до 25 кВ). Также для повышения яркости свечения экрана масочных кинескопов их, как правило, алюминируют.

Из изложенного следует, что цветной кинескоп с тремя электронными прожекторами, теневой маской, точечным люминофор-

ным экраном значительно сложнее как по устройству, так и по работе, чем кинескопы черно-белого изображения.

Чтобы не допустить искажения цветов принимаемых изображений, необходимо, чтобы все три электронных луча пересекались в одном и том же отверстии маски, или, как обычно говорят, необходима точная сходимость лучей. Причем эта сходимость должна достигаться не только в центре экрана (*статическая сходимость*), но и при развертке лучей по всей площади экрана (*динамическая сходимость*).

Практика показала, что достигаемая в условиях серийного производства точность изготовления и сборки кинескопа недостаточна для получения требуемой точности сведения лучей во всех точках экрана. Поэтому в телевизорах применяются дополнительные устройства для обеспечения нормальной работы кинескопа.

К числу таких устройств относятся: регулятор (магнит) чистоты цвета, устройства статического (в центре экрана) и динамического сведения лучей (при отклонении их магнитным полем отклоняющих катушек по площади экрана), регулятор (магнит) положения «синего» луча.

Рассмотрим кратко устройство и работу этих регуляторов.

Магниты чистоты цвета. Вследствие неточностей при сборке кинескопа, электронные лучи, проникая через отверстия маски, могут попадать на «чужие» кружочки люминофоров, что вызовет «загрязнение» одного из цветов каким-то другим цветом. Произойдет искажение цветопередачи и нарушение чистоты цвета.

Для борьбы с подобными явлениями, кроме возможно более точного изготовления всех элементов кинескопа, применения перемещающейся вдоль оси кинескопа отклоняющей системы, установки магнитного экрана для защиты лучей от воздействия внешних полей (в частности, магнитного поля Земли) и приспособления для размагничивания стальных конструкций телевизора, на горловину кинескопа надевается регулируемый магнит чистоты цвета. Один из вариантов конструкции этого магнита состоит из двух намагниченных по диаметру тонких стальных колец, сложенных вместе и надетых на горловину кинескопа. Кольца снабжены рычажками для их вращения (рис. 3.19). Одной половине кольца соответствует северный полюс, а другой — южный.

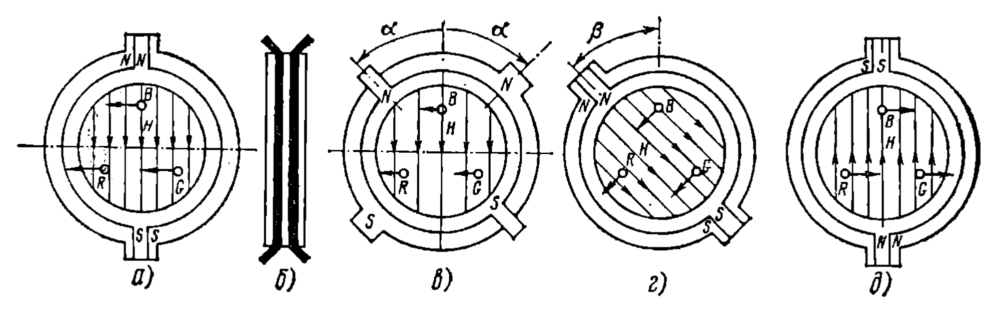


Рис. 3.19. Устройство и работа магнита чистоты цвета

Магнитное поле внутри колец воздействует почти одинаково на все три электронных луча, отклоняя их в направлении, перпендикулярном направлению магнитного поля. При совпадении направлений полей обоих колец (рис. 3.19*а*) (разрез магнита показан на рис. 3.19*б*) поля их складываются и напряженность поля имеет максимальное значение. Лучи *R*, *G* и *B*, проходя через кольца, смещаются в сторону на максимальную величину.

Раздвигая кольца в разные стороны (угол α на рис. 3.19*в*), уменьшают суммарную напряженность поля (векторы напряженности полей складываются геометрически), при этом смещение лучей уменьшится. При $\alpha=90°$ поля колец направлены навстречу друг другу. Суммарная напряженность при равенстве полей упадет до нуля. Наконец, при $\alpha>90°$ напряженность поля приобретает обратную полярность.

Если оба кольца не раздвигая, поворачивать на одинаковый угол β (рис. 3.19*г*), то смещение лучей будет происходить в соответствующей наклонной плоскости. Подбором углов α и β при налаживании телевизора можно добиться необходимой чистоты цвета на каждом из трех цветных растров кинескопа.

Регулятор статической сходимости. Как уже отмечалось выше, для правильной работы масочного кинескопа необходимо, чтобы все три электронных луча одновременно проходили через одно и то же отверстие маски в любом месте ее поверхности и водбуждали свечение всех трех кружочков данной триады. Регулировкой магнита чистоты цвета, действующего одинаково на все три электронных луча, невозможно скорректировать относительную угловую ошибку каждого из лучей в отдельности и достичь необходимой сходимости. Для точного сведения любого из трех лучей применяют специальное устройство сведения, надеваемое на горловину кинескопа рядом с отклоняющей системой (см. рис. 3.18).

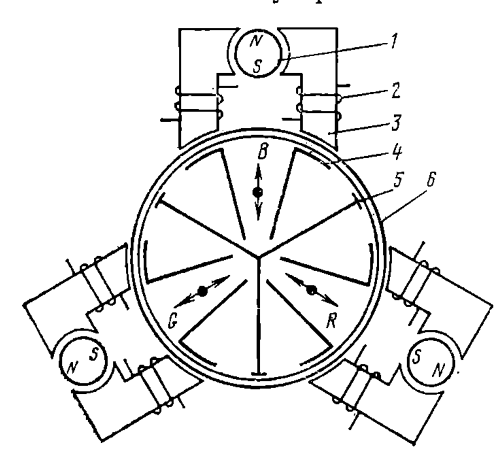


Рис. 3.20. Устройство регулятора радиального сведения лучей:

1 — магнит статического сведения лучей; *2* — строчные и кадровые обмотки динамического сведения лучей; *3—4* — внешний и внутренний полюсные наконечники; *5* — внутренний магнитный экран; *6* — горловина кинескопа

Система электромагнитов с внешними и внутренними полюсными наконечниками (рис. 3.20) является основой устройства сведения лучей. Для статического сведения лучей в центре экрана служат постоянные магниты статического сведения. При вращении этих магнитов полярность и напряженность поля в промежутках между внутренними полюсными наконечниками, где проходят электронные лучи *R*, *G* и *B*, изменяются и лучи перемещаются в радиальных направлениях. Для ослабления влияния регу-

ляторов радиального сведения друг на друга применен внутренний магнитный экран.

Магнит горизонтального смещения «синего» луча. С помощью рассмотренного устройства радиального смещения лучей можно всегда точно свести любые два луча. Третий же луч может и не совпадать с двумя первыми (рис. 3.21*б* и *в*). Для точного сведения

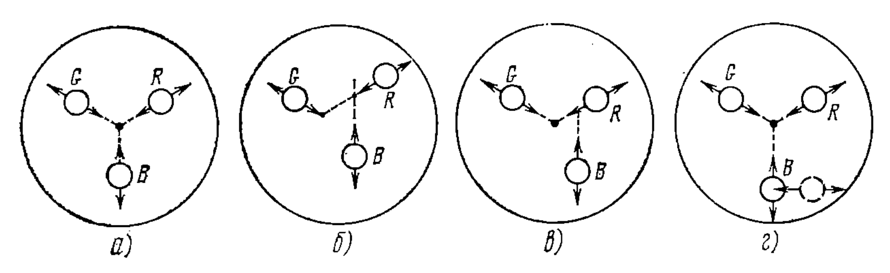


Рис. 3.21. Варианты сведения лучей вследствие:
а, *б*, *в* — радиального их перемещения; *г* — горизонтального перемещения «синего» луча

всех трех лучей приходится ввести еще один регулятор смещения «синего» луча по горизонтали. Одна из возможных конструкций этого регулятора изображена на рис. 3.22. При вращении намагниченного винта *NS* меняется воздушный зазор Δ, а следовательно, и напряженность поля, воздействующего на «синий» электронный луч и вызывающего его горизонтальное перемещение.

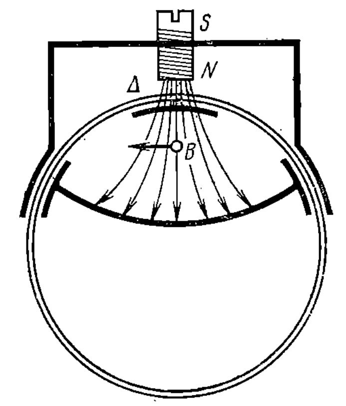


Рис. 3.22. Вариант конструкции регулятора горизонтального смещения «синего» луча

Устройство динамической сходимости. Регулировкой трех магнитов радиального сведения лучей и магнита горизонтального перемещения «синего» луча можно добиться точного сведения всех трех лучей в одно отверстие маски только в ее центральной части. Полной сходимости лучей по всей поверхности маски при отклонении их полем отклоняющей системы добиться не удастся.

Это обусловлено несколькими причинами. Основная из них заключается в том, что центр кривизны сферической поверхности теневой маски и экрана не совпадает с центром отклонения электронных лучей. Поэтому по мере отклонения лучей от центра экрана длина их будет возрастать, сходиться же они будут на прежнем расстоянии (на сфере схождения), не дойдя до маски (рис. 3.23*а*). На маску, а тем более на экран, они попадут сильно разошедшимися, пройдут через удаленные друг от друга отверстия маски и возбудят люминофорные кружочки различных триад. Произойдет так называемое *расслоение* лучей.

Некоторое нарушение сходимости лучей связано с тем, что электронные прожекторы смещены относительно оси кинескопа и по-различному наклонены к плоскости экрана. Вследствие этого три одноцветных растра оказываются сдвинутыми и несколько деформированными друг относительно друга. Чем дальше от центра экрана, тем сильнее расходятся одноцветные растры [3.4, рис. 5.6б].

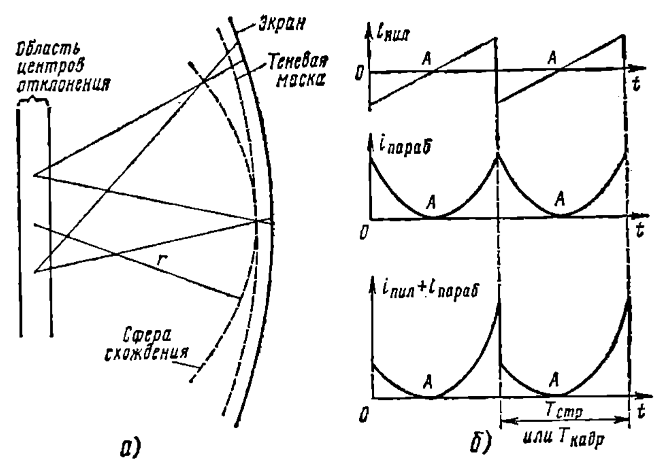


Рис. 3.23. Нарушение сходимости лучей при отклонении их от центра экрана: *а* — схема хода лучей; *б* — форма токов динамического сведения лучей

Для устранения нарушения сходимости лучей при отклонении их полями отклоняющих катушек используются электромагниты динамического сведения, обмотки которых размещаются на внешних полюсных наконечниках регулятора сведения (см. рис. 3.20). В обмотки электромагнитов динамического сведения лучей подаются пилообразные и параболические токи строчной и кадровой частоты (рис. 3.23б), вырабатываемые специальным устройством, содержащимся в цветном телевизоре. Регулировки этого устройства позволяют изменять их амплитуды и относительное содержание пилообразной и параболической составляющих.

Из рис. 3.23б видно, что в точках *А*, соответствующих неотклоненному положению электронных лучей, токи динамического сведения равны нулю и на лучи действуют только поля постоянных магнитов статического сведения. По мере отклонения лучей от центра экрана токи динамического сведения увеличиваются и соответственно корректируют форму траекторий электронных лучей.

Достоинства и недостатки масочного кинескопа. Рассмотренный выше масочный кинескоп дает на сегодняшний день лучшее, наиболее четкое и контрастное цветное изображение. Поэтому он получил применение в подавляющем большинстве цветных телевизионных приемников, выпускаемых в любой стране мира. Однако в то же время он имеет ряд недостатков, из которых в первую очередь необходимо указать следующие:

из-за малой прозрачности маски яркость экрана снижается, а сама маска сильно нагревается; для получения необходимой яркости приходится увеличивать токи лучей повышением анодного напряжения;

увеличение анодного напряжения влечет за собой рост мощности развертывающих устройств, а следовательно, и общей мощности, потребляемой телевизором;

технология изготовления кинескопа, в частности точечного экрана, получается весьма сложной и трудоемкой, а сам кинескоп — дорогим;

настройка, регулировка и эксплуатация масочного кинескопа сложны и требуют специалистов высокой квалификации;

качество цветных изображений сильно зависит от устройства, работы и качества регулировки системы сведения и отклонения лучей;

форсированный режим работы электронных прожекторов сокращает их срок службы и ухудшает фокусировку лучей и четкость изображений;

высокое анодное напряжение влечет за собой опасность рентгеновского излучения и необходимость устройства защиты от него.

3.4. Трехлучевой кинескоп с фокусирующей сеткой. Трехлучевой хроматрон

Поиск новых конструкций кинескопов. Большое количество существенных недостатков, присущих масочному кинескопу, заставили исследователей упорно изыскивать пути создания новых, более простых и удобных конструкций оконечных устройств приемников цветного телевидения. Показателем масштаба этих работ может служить такая цифра: число патентов и авторских свидетельств, полученных на оконечные устройства приемников цветного телевидения, сейчас, по-видимому, перевалило за три сотни[1]. Однако, несмотря на столь широкий фронт работы, масочный кинескоп и на сегодняшний день продолжает оставаться как в СССР, так и за рубежом наиболее широко распространенным кинескопом для приемников цветного телевидения, дающим изображения наиболее высокого качества.

Из многочисленных предложенных и испытанных оконечных устройств приемников цветного телевидения, некоторое время тому назад, наиболее перспективным соперником масочного кинескопа считали трехлучевой кинескоп с фокусирующей сеткой или, как его сокращенно называют, трехлучевой хроматрон.

Устройство трехлучевого хроматрона. В отличие от масочного кинескопа, в хроматроне вместо теневой маски применена сетка из тонких параллельных проволочек, на которую подано напряжение, в результате чего она действует как система цилиндрических

[1] В [3.4], вышедшей еще в 1971 г., приводятся данные о 283 патентах на оконечные устройства приемников цветного телевидения.

линз, оказывающих фокусирующее действие на проходящие электронные лучи (рис. 3.24). Точечный экран в хроматроне заменен штриховым. На плоскую стеклянную пластину нанесены чередующиеся параллельные вертикальные (или иногда горизонтальные) узкие полоски люминофоров, дающие при возбуждении электронным лучом последовательно красное, зеленое и синее свечение.

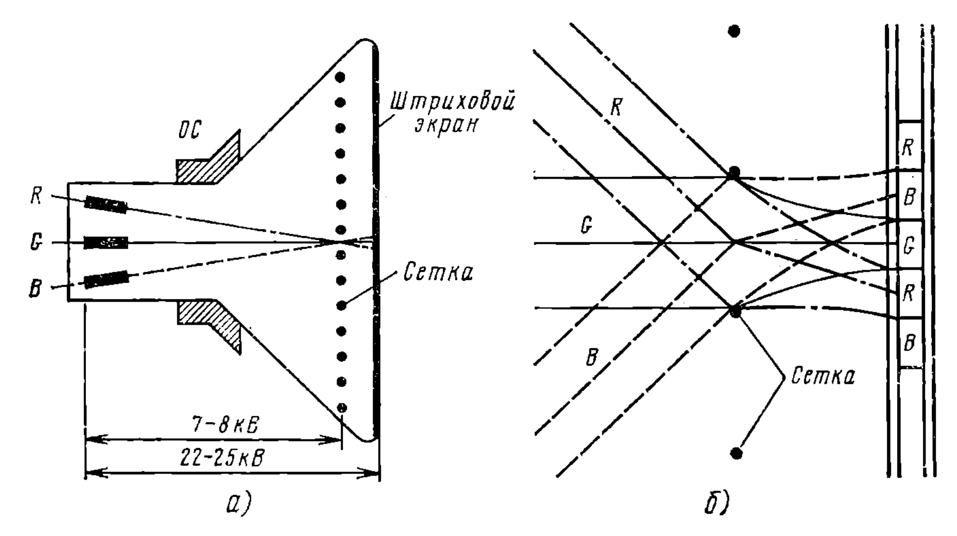


Рис. 3.24. Трехлучевой хроматрон:
а — принцип устройства; *б* — схема хода лучей

Сетка из проволочек должна обладать достаточной механической прочностью. Для этого она должна быть либо плоской (натянутой), либо цилиндрической. Поэтому и люминофорные полоски должны размещаться или на совершенно плоском, или цилиндрическом экране баллона, или на плоской пластине, помещенной внутри баллона. Каждой паре проволочек соответствуют три параллельные полоски люминофоров, дающих красное, зеленое и синее свечение. Каждый электронный прожектор, как обычно, управляется соответственно «своим» сигналом (красным, зеленым и синим). При правильном выборе расстояний между электронными прожекторами, сеткой и штриховым люминофорным экраном каждый электронный луч попадает на «свой» люминофор.

Цилиндрические линзы сжимают (фокусируют) электронные лучи в направлении, перпендикулярном к проволочкам сетки; сечение лучей приобретает форму эллипса, что способствует более точному попаданию лучей на полоски и улучшает чистоту цвета.

Использование фокусирующей сетки из тонких проволочек вместо теневой маски увеличивает ее прозрачность с 15 до 80% и более. Яркость изображения на экране хроматрона при прочих равных условиях получается значительно большей, чем в масочном кинескопе. Это позволяет снизить анодное напряжение и, следовательно, требует меньшей мощности для отклонения лучей.

К сожалению, наряду с этими важными достоинствами трехлучевые хроматроны обладают и существенными недостатками.

Электронные лучи, бомбардируя с большой скоростью фокусирующую сетку и люминофорные полоски экрана, выбивают из них вторичные электроны, которые под влиянием электрического поля возвращаются на экран и засвечивают его, снижая этим контрастность изображения и чистоту цвета. В масочном кинескопе подобная засветка экрана не происходит, так как теневая маска имеет потенциал экрана и электрическое поле между ними отсутствует. Несколько ослабить засветку экрана трехлучевого хроматрона можно, изготавливая фокусирующую сетку из материала с малым коэффициентом вторичной эмиссии и покрывая экран алюминиевой пленкой.

Изготовление штрихового экрана оказалось довольно сложным. Три луча хроматрона также требуют сведения, как и лучи масочного кинескопа. Наконец, замена масочного кинескопа трехлучевым хроматроном не упрощает схемы телевизора. Таким образом, трехлучевой хроматрон возлагавшиеся на него надежды не оправдал.

3.5. Совершенствование цветных кинескопов

Компланарное или Δ-расположение прожекторов. Первоначально электронные прожекторы в трехлучевых цветных кинескопах располагались в горловине кинескопа по вершинам равностороннего треугольника (так называемые Δ-кинескопы). Однако позднее было показано, что более удобно размещать электронные прожекторы в одной плоскости (линейное или компланарное расположение). При таком расположении ось центрального, обычно зеленого, прожектора совпадает с осью кинескопа, а оси двух других прожекторов расположены под некоторым углом к оси кинескопа для обеспечения статического сведения трех лучей в центре маски или сетки. Такая конструкция упрощает системы динамического сведения, так как достаточно воздействовать только на два крайних луча. Но при планарном расположении прожекторов, их труднее разместить в горловине данного диаметра. Они могут там не уместиться, и потребуется уменьшить диаметры цилиндрических электродов прожекторов, что может ухудшить фокусировку лучей. Чтобы обойти эту трудность, было предложено использовать в конструкции системы прожекторов не отдельные для каждого луча цилиндрические электроды, а общие электроды для всех трех лучей.

Тринитрон. Тринитроном называется своеобразный трехлучевой кинескоп с общими для всех трех лучей электродами.

Устройство цветного тринитрона изображено на рис. 3.25. Три катода K имеют общий модулятор M с тремя отверстиями, расположенными вдоль горизонтальной прямой, перпендикулярной оси кинескопа. Для модуляции лучей на катоды прожекторов подаются сигналы трех основных цветов E'_R, E'_G и E'_B или цветоразност-

ные сигналы E'_{R-Y}, E'_{B-Y} и E'_{G-Y} подаются на катоды, а сигнал яркости E'_Y на модулятор кинескопа. Экранирующий электрод *Э* также общий и имеет три отверстия. Перечисленные электроды заставляют электронные лучи, как обычно, пересечься в кроссовере (точка *О*). Далее расположены цилиндрические электроды, об-

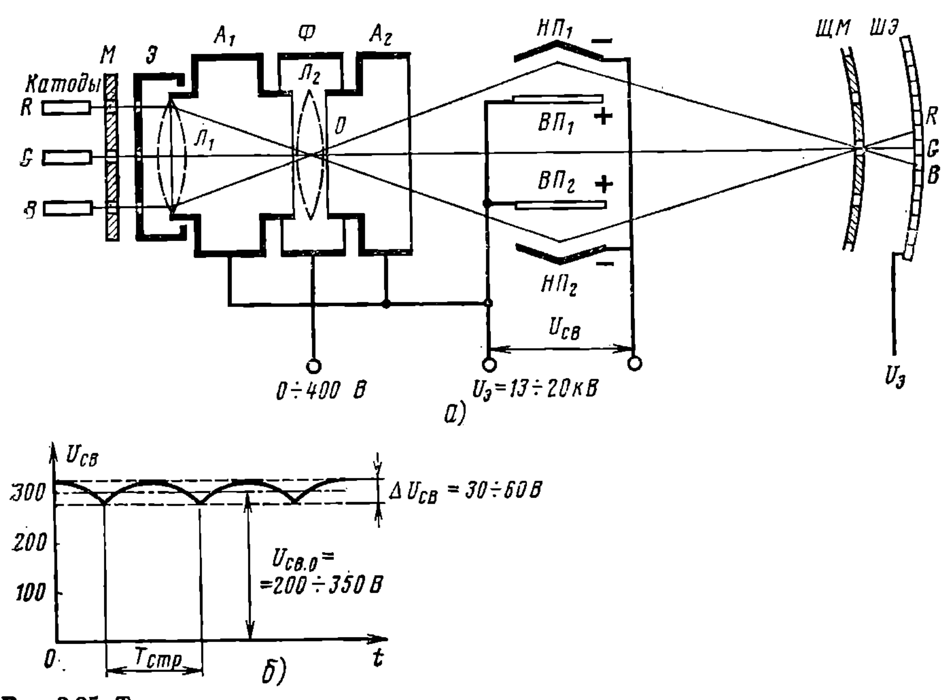


Рис. 3.25. Тринитрон:
а — схема расположения электродов; *б* — форма сигналов сведения в нем

щие для всех трех лучей, образующие фокусирующую систему, состоящую из двух линз — сводящей $Л_1$ и фокусирующей $Л_2$. Первая сводит параллельные лучи так, чтобы они прошли через центр второй. Вторая линза образует на экране кинескопа изображение кроссовера.

После линзы $Л_2$ лучи *R*, *G* и *B* расходятся. Для статического и динамического сведения крайних лучей используются две пары отклоняющих пластин. Внутренние пластины $ВП_1$ и $ВП_2$ имеют одинаковый потенциал $U_э$, так как соединены с экраном, и поэтому не оказывают влияния на центральный луч. На наружные пластины $НП_1$ и $НП_2$ подается потенциал, ниже потенциала внутренних пластин $U_э$ на значение потенциала сведения $U_{св}$. Последний состоит из постоянной составляющей статического сведения $U_{св0}$ примерно 200—350 В и переменной составляющей $\Delta U_{св}$ с размахом 30—60 В в виде параболы строчной частоты, осуществляющей динамическое сведение (рис. 3.25*б*). Щелевая маска *ЩМ* выполнена в виде решетки с вертикальными щелями, имеющими одинаковую кривизну со штриховым экраном *ШЭ*. Прозрачность щеле-

вой маски составляет 22—24%. В тринитронах упрощены система сведения и ее регулировка.

Из недостатков тринитронов необходимо отметить малую механическую прочность щелевой маски, что затрудняет их применение в кинескопах с большим экраном. Кроме того, с увеличением размеров экрана приходится прибегать к дополнительному динамическому сведению лучей в вертикальном направлении, кроме рассмотренного горизонтального сведения лучей отклоняющими пластинами.

Кинескоп с «самосведением». В последнее время большие надежды возлагаются на новую конструкцию цветного кинескопа со щелевой маской, компланарно расположенными прожекторами и штриховым экраном, состоящим из чередующихся полосок «красного», «зеленого» и «синего» люминофоров.

В первых образцах кинескопов этого типа (с диагональю экрана 40 см и углом отклонения 90°) удалось получить удовлетворительное совмещение растров, не прибегая к помощи внешних органов регулировки. Поэтому они получили наименование кинескопов с самосведением. В кинескопах с большими размерами экранов и углов отклонения уже необходимо применять несложные устройства для коррекции ошибок сведения лучей, возникающих из-за технологических разбросов при производстве кинескопов и отклоняющих систем. Но все же этим кинескопам, по-видимому, присущи существенные достоинства: упрощаются сведения лучей, производство и регулировка телевизоров, повышается прозрачность маски и яркость свечения экрана, улучшается чистота цвета, уменьшается влияние на сведение лучей магнитного поля Земли.

Так как качество сведения и чистота цвета в этих кинескопах не зависят от размеров экрана, системы коррекции геометрических искажений и колебаний питающих напряжений, регулировку чистоты цвета и сведения, установку и юстировку отклоняющей системы на горловине кинескопа делают на заводе-изготовителе кинескопов, после чего закрепляют ее «на постоянно».

Не оказался свободным от недостатков и этот тип кинескопа. Например, он требует более высокой точности изготовления электронно-оптической системы и установки отклоняющей системы. Для получения равной разрешающей способности ширина люминофорных полосок штрихового экрана должна составлять примерно половину диаметра люминофорных кружочков обычного масочного кинескопа.

Однолучевой хроматрон. Существенным недостатком трехлучевых кинескопов является необходимость сведения трех лучей по всей площади маски или сетки. От этого недостатка свободны однолучевые кинескопы, в частности однолучевой хроматрон. В однолучевом хроматроне с помощью особого переключателя, представляющего собой бипотенциальную сетку, на которую поданы постоянный потенциал и переменная составляющая, электронный луч перебрасывается последовательно на три люминофорные по-

лоски. Частота переключений должна быть весьма высокой. Обычно для переключений используют частоту цветовой поднесущей. В одном из вариантов однолучевых хроматронов люминофорные полоски чередуются в следующем порядке: К, З, С, З, К, З, ..., т. е. зеленых полосок берется в 2 раза больше, чем синих и красных. Однако ширина зеленых полосок делается вдвое уже, чем красных и синих. Около экрана, параллельно ему, расположена цветоделительная сетка (рис. 3.26*а*), образованная двумя группами вер-

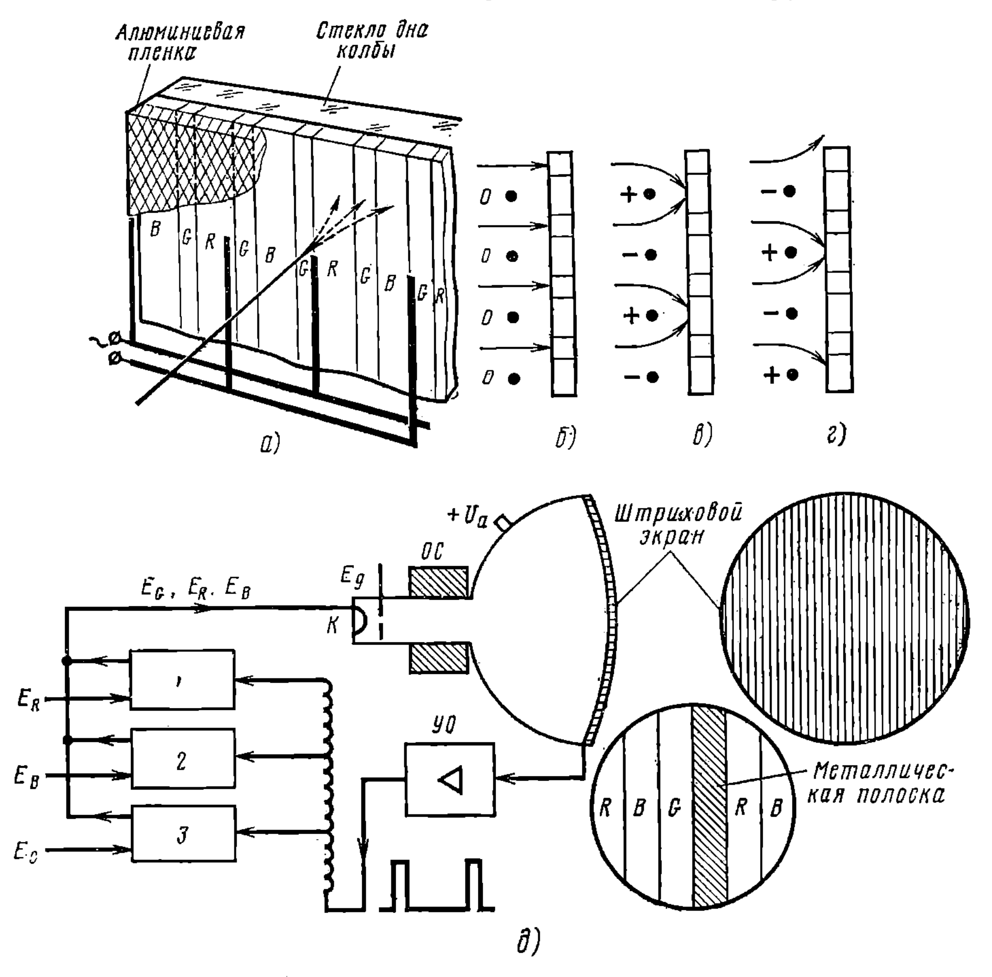


Рис. 3.26. Однолучевой хроматрон и индексный кинескоп:
а, *б*, *в* и *г* — устройство и принцип действия; *д* — принцип действия цветного кинескопа с сигнальным штриховым экраном (*1*, *2*, *3* — усилители-смесители сигналов «красного», «зеленого», «синего» соответственно; *УО* — усилитель-ограничитель)

тикальных проволочек. Проволочки одной группы располагаются против красных полосок люминофора, а другой — против синих. Зеленые полосы остаются открытыми для прямой бомбардировки электронным лучом. Проволочки каждой группы соединены вместе.

Если разность потенциалов на входных зажимах сетки равна нулю, то экран хроматрона будет светиться зеленым цветом (рис. 3.26*б*), сетка не будет вызывать отклонения луча.

При подаче на цветоделительную сетку разности потенциалов в несколько сотен вольт электроны луча будут отталкиваться от проволочки, заряженной отрицательно, и притягиваться к проволочке, заряженной положительно. В результате при развертке электроны луча будут попадать на люминофорную полоску, находящуюся за проволочкой с положительным зарядом [на красную (рис. 3.26*в*) и на синюю (рис. 3.26*г*)].

На цветоделительную сетку обычно подают переменное напряжение, изменяющееся с частотой смены цветов, т. е. частота должна быть такой, чтобы за время движения луча между двумя зелеными полосками он успел сместиться влево и вправо. Специальный электронный коммутатор подает на кинескоп «красный» сигнал изображения, когда электронный луч бомбардирует «красные» полоски, «синий», когда бомбардируются «синие» полоски, и «зеленый», когда бомбардируются «зеленые» полоски.

В однолучевом хроматроне устраняется проблема сведения лучей; для отклонения луча используется обычная отклоняющая система. Но из-за большой емкости цветоделительной сетки (емкости между двумя группами проволочек) и высокой частоты переключения схема коммутации получается сложной и громоздкой.

Индексные кинескопы. Рассмотренные выше кинескопы работали по принципу: если на вход прожектора поступил, например, «зеленый» сигнал, то электронный луч должен быть направлен на зеленые полоски экрана. Но возможна работа и по обратному принципу: если электронный луч попадает на зеленую полоску экрана, то на вход прожектора должен быть подан «зеленый» сигнал изображения. Подобная работа кинескопа обеспечивается с помощью обратной связи между структурой экрана и электронным прожектором. Было предложено множество разнообразных конструкций кинескопов для такой работы, а также средств и методов осуществления обратной связи и выработки для нее соответствующих индексных сигналов.

Для получения общего представления об устройстве и работе таких кинескопов разберем в качестве примера кинескоп с сигнальным штриховым экраном (рис. 3.26*д*). Экран этого кинескопа состоит из четырех чередующихся узких вертикальных полосок красного, зеленого и синего люминофоров и металлической сигнальной полоски. Сигнальная полоска изготавливается из материала, коэффициент вторичной эмиссии которого значительно отличается от аналогичного коэффициента люминофорных полосок.

Все сигнальные полоски соединены вместе, выведены наружу и подключены к резисторам нагрузки. При движении в горизонтальном направлении электронный луч будет пересекать эти сигнальные полоски, в результате чего на нагрузке возникнут импульсы. Эти импульсы подаются в усилитель-ограничитель *УО*, где их размах делается постоянным, не зависящим от характера

воспроизводимых изображений. Затем импульсы пропускаются через линию задержки с отводами, подобранными таким образом, чтобы разница в задержке импульсов была равна четверти длительности развертки одного элемента изображения. Последний соответствует трем цветным и одной динатронной полоске, с отличающейся от цветных коэффициентом вторичной эмиссии.

Полученные от линии задержки импульсы поочередно отпирают «зеленый», «синий» и «красный» каналы, в результате чего электронный луч модулируется соответствующим сигналом изображения. При такой работе цветного кинескопа изменение скорости развертки или неравномерность нанесения полосок на поверхность экрана не влияет на верность цветовоспроизведения.

Несмотря на кажущуюся перспективность, индексные кинескопы пока не получили применения из-за того, что приходится значительно усложнять схему телевизора.

3.6. Специальные типы кинескопов

Разновидности специальных кинескопов. Кроме кинескопов, широко применяющихся в бытовых телевизорах, и более точно называемых кинескопами прямого видения, имеется еще несколько типов кинескопов, используемых для иных целей. Например, существуют проекционные кинескопы, применяемые для проекции телевизионных изображений на отражающие экраны, кинескопы для фотографирования и киносъемки передаваемых изображений, кинескопы для передачи телевизионных изображений по методу «бегущего луча» и др. Каждый из этих кинескопов имеет некоторые своеобразные особенности, свойства и характеристики.

Проекционные кинескопы применяются для создания изображений на больших экранах. При этом требуется повышенная яркость изображения для компенсации потерь света в оптической системе и ослабления яркости за счет увеличения отношения $S_э/S_к$, где $S_э$ и $S_к$ — площади изображения на проекционном экране и экране кинескопа.

Повышение яркости достигается, главным образом, путем повышения напряжения на аноде кинескопа до 80—100 кВ. При столь высоком напряжении экран кинескопа создает большое рентгеновское излучение. Для защиты от этого излучения кинескоп приходится заключать в металлический экран, а переднее стекло изготавливать с добавкой окиси свинца или стронция.

Значительное увеличение плотности электронов в луче приводит к дефокусировке и снижению четкости изображения, поэтому ток луча не увеличивают более 200 мкА.

В связи со значительным возрастанием мощности луча срок службы экранов проекционных кинескопов соответственно сокращается. Так как проекционные кинескопы работают при $U_{a2} \gg$

$\gg U^{*)}{}_{кр2}$, в них, как правило, применяются алюминированные экраны.

Нарушение работы развертывающих устройств в установках проекционного телевидения может привести к немедленному выходу приемной трубки из строя, так как удельная мощность пятна составляет единицы киловатт на квадратный миллиметр. Поэтому в установках проекционного телевидения обычно предусматривается устройство для автоматического снятия высокого напряжения при каких-либо неполадках в каскадах развертки.

Диаметр проекционных кинескопов обычно делается небольшим—6—12 см, редко больше, что позволяет применять светосильные короткофокусные объективы.

Кинескопы для фотографирования. Экран кинескопа, используемый для фотографирования и киносъемки телевизионных изображений, по многим показателям должен быть подобен экрану проекционного кинескопа (форма, размеры, высокая яркость). Но по некоторым показателям он должен существенно отличаться от проекционного. Например, поскольку приемником излучения в данном случае будет не глаз, а кино или фотопленка, то необходимо, чтобы спектр излучения кинескопа по возможности совпадал со спектром, к которому чувствительна используемая пленка.

Для устранения оптических искажений экран кинескопа для съемки телевизионных изображений должен быть плоским.

Кинескопы для систем «бегущий луч». Поскольку приемником излучения экрана в этих системах является фотоэлемент или фотоэлектронный умножитель, то спектр излучения экрана должен по возможности совпадать с кривой спектральной чувствительности фотоэлемента или ФЭУ.

Для предотвращения смазывания и получения четких изображений кинескоп — источник бегущего луча — должен обладать возможно более коротким послесвечением.

3.7. Большие телевизионные экраны

Размеры телевизионного изображения. Специалисты по физиологии зрения утверждают, что размеры наблюдаемых человеком изображений оцениваются не по абсолютной величине, а по угловой, т. е. по величине того угла, который образуют лучи, проведенные от крайних точек наблюдаемого изображения в зрачок глаза. По этой причине телевизионные изображения высотой, например, 10 см, 24 см и 3 м, наблюдаемые с расстояния соответственно 1, 2,4 и 30 м, воспринимаются как изображения одинаковой величины.

Как уже отмечалось в гл. 1, оптимальным расстоянием наблюдения телевизионных изображений является расстояние, равное четырем высотам наблюдаемого экрана. С такого расстояния по-

---

*) Ускоряющее напряжение, при котором коэффициент вторичной эмиссии второй раз приобретает значение $\sigma=1$.

лучается наиболее полное впечатление как от изображения в целом, так и достаточно четко различаются его мелкие детали.

Поэтому стремление некоторых зрителей иметь телевизор с экраном возможно большей величины нельзя считать достаточно обоснованным и логичным. Для индивидуального наблюдения в небольших комнатах достаточно иметь экран с диагональю 47—59 см и наблюдать его с расстояния 1,2—1,5 м.

Создание больших телевизионных экранов необходимо, главным образом, при наблюдении изображений на телевизорах коллективного пользования в больших просмотровых залах.

Пути увеличения размеров экрана. Получить телевизионное изображение большого размера можно несколькими путями, либо увеличивая размеры кинескопа и его экрана, либо проецируя изображение с экрана кинескопа на просмотровый экран, либо, наконец, применяя для получения изображений не кинескоп, а какую-то иную систему: светоклапанные («Скиатрон» или «Аристон»), лазерную и т. п.

С увеличением размеров становится все труднее обеспечивать необходимую прочность баллона. Приходится изготавливать его из толстого стекла, изыскивать для него особо прочную форму, применять упрочняющие бандажи и т. п. К тому же при изготовлении кинескопов больших размеров трудно избежать неравномерности их нагрева, что приводит к образованию в стекле местных напряжений, снижающих прочность кинескопов. Поэтому в отношении увеличения размеров кинескопов вакуумная техника, по-видимому, весьма близко подошла к практически достижимому пределу (диагонали 65—67 см). Вряд ли получат широкое распространение кинескопы с диагональю 70—80 см.

Проекционные системы. Наиболее естественный и очевидный способ увеличения телевизионного изображения — это проекция его с помощью оптического объектива на просмотровый экран, подобно тому как проецируются кадры в кино или диапозитивы в диапроекторе. Основная трудность такого решения проблемы — недостаток яркости.

Яркость получающегося на просмотровом экране изображения можно подсчитать с достаточной для практики точностью по формуле

$$B_э = B_к \frac{S_к}{S_э} \frac{O^2 \tau r}{4}, \tag{3.12}$$

где $B_к$ — яркость изображения на экране кинескопа; $S_к$ и $S_э$ — площади изображений на экране кинескопа и на проекционном экране; O — относительное отверстие объекта; τ — коэффициент прозрачности объектива; r — коэффициент отражения экрана (светоотдача).

Хорошие современные объективы имеют $O=1:1{,}5$; $\tau=0{,}6$. Если при таком объективе взять $r=1$, то при проекции изображения с трубки на экран без увеличения (т. е. когда $S_к/S_э=1$) отношение яркостей экрана и трубки будет $B_э/B_к=O^2\tau r/4\approx 6/100$,

т. е. яркость изображения на экране из-за потерь света составляет в лучшем случае 6% яркости изображения на трубке.

При проекции с увеличением яркость изображения на проекционном экране ослабляется дополнительно во столько раз, во сколько площадь изображения на проекционном экране больше площади изображения на экране кинескопа[1]. Таким образом, из-за потерь света, а также из-за увеличения изображения чрезвычайно сильно ослабляется яркость экрана.

Как следует из (3.12), увеличить яркость изображения на приемном экране можно тремя путями: повышением яркости изображения на экране проекционного кинескопа; уменьшением потерь света с помощью увеличения относительного отверстия (светосилы) и прозрачности объектива; увеличением коэффициента отражения экрана.

О проекционных кинескопах и повышении яркости их экранов говорилось выше.

Уменьшить потери света и увеличить относительное отверстие оказалось возможным путем применения вместо линзовой отражательной или зеркальной оптики. Основу ее составляет вогнутое сферическое зеркало, отражающее на проекционный экран изображение, получаемое на экране кинескопа.

В такой системе для получения меньших геометрических искажений поверхность экрана кинескопа должна быть не плоской, как в системах с линзовыми объективами, а сферической, причем центр сферы экрана кинескопа должен совпадать с центром сферической поверхности зеркала. Кроме того, для устранения искажений из-за так называемой сферической аберрации в системе должны быть применены особые корректирующие линзы. Если относительное отверстие хорошего линзового объектива равно 1 : 1,5, то у зеркального оно достигает 1 : 0,6 и более.

При покрытии обычного проекционного экрана алюминиевым порошком яркость изображения возрастает в 2—5 раз. Растровые проекционные экраны из маленьких вогнутых зеркал повышают яркость в 10—20 раз.

Светоклапанные системы. Из таких систем можно рассмотреть две — «Скиатрон» и «Аристон».

Скиатрон. Изображения больших размеров можно получить с помощью светоклапанных систем, в которых при бомбардировке электронным лучом экрана специального кинескопа изменяется не яркость свечения его отдельных точек, а их прозрачность (кинескопы с темновой записью или *скиатроны*). Пропуская через такой экран с записанным изображением световой поток от мощной лампы, можно спроецировать полученное изображение на большой экран подобно тому, как это делается в кинопроекторе. Со временем потемнение кристаллов покрытия экрана постепенно исчезает, но это исчезновение для вещательного телевидения происходит недостаточно быстро. Поэтому, несмотря на

---

[1] При диффузном отражении экрана.

длительные эксперименты, удовлетворительного качества изображений в телевизионном вещании со скиатроном получить не удалось. Однако в системах малокадрового телевидения (например, при передаче изображений с Луны) приемные устройства со скиатроном успешно используются.

Аристон. Изображения высокой четкости, соответствующей требованиям вещательного телевидения, при яркости около 20 кд/м^2 на экранах до 100 квадратных метров удается получить с помощью светоклапанной системы, известной под названием «Аристон»[1]. В этой системе модуляция светового потока осуществляется посредством деформации поверхности тонкого слоя прозрачного масла. Принцип такой модуляции заключается в следующем (рис. 3.27*а*). Если на металлическую зеркальную поверх-

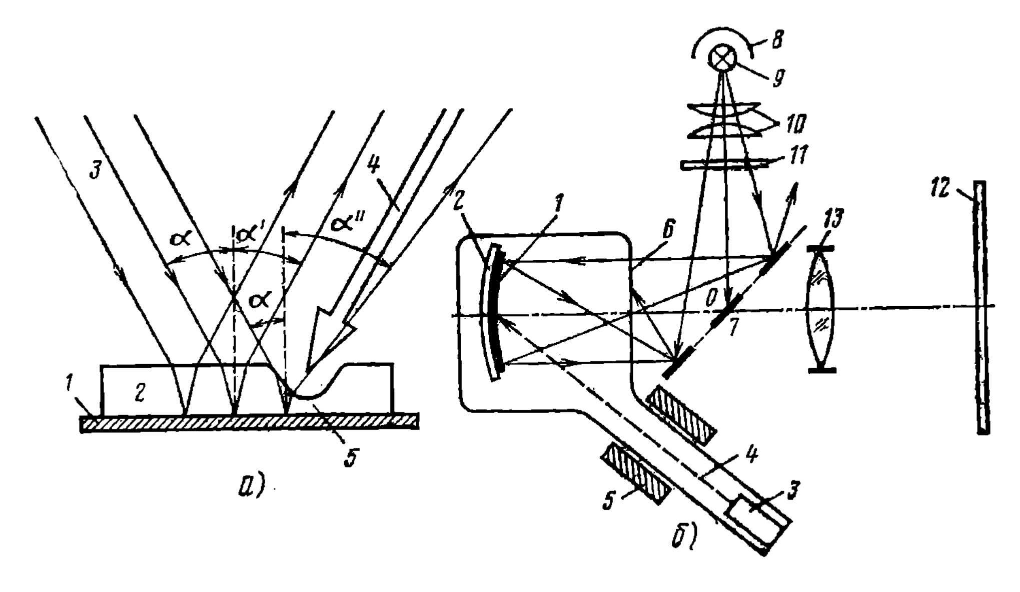


Рис. 3.27. Светоклапанная система «Аристон»:
а — деформация электронным лучом масляной пленки; *б* — устройство системы

ность *1* нанести тонкий слой масла *2* со специально подобранными механическими и электрическими свойствами (вязкость, проводимость и др.), то световой поток *3* от внешнего источника, падающий под углом α на масляную пленку, пройдет через нее и, отразившись под маслом от зеркала, уйдет под углом α'.

При бомбардировке электронами на поверхности масла образуются электрические заряды. Там, где интенсивность электронного луча была неизменна, плотность зарядов постоянна и поверхность масла останется ровной. Там же, где луч модулирован, заряды на поверхности масла распределятся неравномерно и возникающие при этом электростатические силы будут сжимать и деформировать пленку масла. Световые лучи, отраженные от зер-

[1] Зарубежный аналог «Эйдофор».

кала и дважды прошедшие через деформированную пленку масла, будут уходить от этого зеркала под различными углами α'', определяемыми глубиной деформации масла на данном элементе его поверхности.

Упрощенная схема системы «Аристон» приведена на рис. 3.27*б*. Тонкий слой масла *1* наносится на поверхность вогнутого сферического зеркала *2*. Прожектор *3* создает электронный луч *4*, перемещающийся по строкам и по кадрам отклоняющей системой *5*. Перед окном *6* размещается система зеркальных полосок *7*, расположенная под углом в 45° к оси трубки и совпадающая с центром *О* кривизны сферического зеркала *2*.

Лучи света, исходящие из источника *9*, пройдя конденсор *10*, попадают на систему зеркальных полосок, откуда направляются на сферическое зеркало *2*. Отразившись от зеркала, лучи снова попадают на зеркальные полоски и, отразившись от них, уходят по направлению к источнику света.

Правильным подбором взаимного расположения зеркальных полосок *7* и сферического зеркала *2* добиваются, чтобы световой поток, отраженный от зеркала, не попадал на экран *12*. При деформации электронным лучом *4* поверхности масла *1* в какой-либо точке лучи света, прошедшие через слой масла в этой точке, отклонятся от первоначального направления и пройдут через промежутки между зеркальными полосками к экрану *12*. Проекционный объектив *13* создаст из прошедшего света изображение светящейся точки, яркость которой будет пропорциональна глубине деформации масла. Промодулированный сигналом изображения электронный луч, прочерчивая растр на сферическом зеркале, покрытом пленкой масла, создаст на нем рельефное изображение. Лучи света, отклоненные благодаря деформации пленки масла и прошедшие в промежутки между зеркальными полосками, создадут на экране *12* яркое изображение.

Чтобы по истечении одного кадра заряды на пленке растекались и нейтрализовались, а деформация из-за поверхностного натяжения исчезла, в масло добавляют специальные вещества, увеличивающие его проводимость, а само масло подбирают соответствующей вязкости.

Таковы основные принципы работы системы «Аристон». Практически при реализации этих принципов встретились существенные трудности, заставившие значительно усложнить эту систему.

Например, слой масла в вакууме постоянно испаряется. Это заставило производить при эксплуатации непрерывную откачку трубки. Для компенсации потерь масла в трубке пришлось предусмотреть особый резервуар с запасом масла, из которого оно напыляется на поверхность зеркала. Для создания равномерного слоя масла на сферическом зеркале последнее пришлось сделать медленно вращающимся и снабдить механическим устройством, «размазывающим» масло по поверхности сферического зеркала.

Лазерный телевизор. В последние годы появился еще один способ получения больших телевизионных изображений, основан-

ный на использовании светового луча, создаваемого оптическим квантовым генератором (лазером). Световой луч, создаваемый лазером непрерывного действия (рис. 3.28), проходит через оптический модулятор, где телевизионный сигнал изменяет его интен-

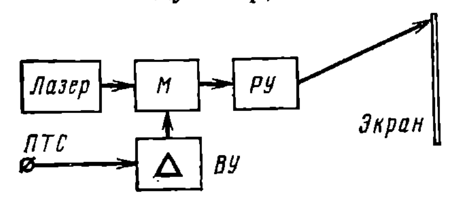


Рис. 3.28. Структурная схема лазерного воспроизводящего устройства (*М* — модулятор, *РУ* — развертывающее устройство, *ВУ* — видеоусилитель, *ПТС* — полный телевизионный сигнал)

сивность. Промодулированный луч отклоняется развертывающим устройством по строкам и по кадрам и, попадая на большой просмотровый экран, создает на нем яркое телевизионное изображение.

Конкретное выполнение воспроизводящего лазерного устройства пока встречает некоторые трудности. Например, поскольку световой луч не отклоняется электрическими и магнитными полями, то для развертки светового луча приходится прибегать к механически вращающимся зеркальным барабанам. Затем, так как лазер дает практически монохроматическое излучение, то в простейших лазерных системах, подобных приведенной на рис. 3.28, невозможно получить черно-белые изображения. Последние могут быть получены только в цветных трехлазерных системах.

3.8. Телевизор без трубки

Назначение баллона в кинескопах. Значительную долю объема футляра телевизора занимает кинескоп. Чтобы оценить необходимость и значение отдельных его частей и элементов, вспомним происходящие в нем процессы.

Электронный прожектор излучает тонкий электронный луч, интенсивность которого изменяется в зависимости от напряжения приходящего сигнала. Последний в свою очередь отражает распределение яркости по площади передаваемого изображения. Электроны луча, разогнанные до значительной скорости, проходя отклоняющую систему, отклоняются по строкам и по кадрам. В результате отклонения луч обегает экран кинескопа и возбуждает свечение отдельных его элементов, образуя на нем телевизионное изображение.

Таким образом, собственно возникновение изображения происходит только в тонком слое люминофора. Большая же глубина кинескопа (размер вдоль оси) лишь частично обусловлена длиной электронного прожектора и отклоняющей системы. Основной причиной значительной глубины кинескопа является необходимость обеспечить вакуум внутри баллона. Для нормального функционирования электронного луча необходим вакуум, т. е. определенный объем «пустого места». Это увеличивает объем, а следовательно, и массу кинескопа.

Следует отметить еще одно «слабое место» современных кинескопов. Отклонение электронного луча требует сравнительно большой мощности, составляющей значительную долю общей мощности, потребляемой телевизором. Поэтому, если бы удалось создать безвакуумное и безлучевое воспроизводящее телевизионное устройство, то оно сжалось бы до тонкой по сравнению с другими его размерами пластинки и позволило существенно уменьшить размеры и массу телевизора и потребляемую им мощность. В предельном случае приемный телевизионный экран видится в виде гибкой пластмассовой пленки, свертываемой в рулон подобно листу бумаги. Идея создания такого плоского телевизионного экрана оказалась столь привлекательной, что ученые многих стран развернули широкие исследовательские работы в этом направлении.

Плоский экран. Проблема создания безвакуумного и безлучевого плоского телевизионного экрана распадается на ряд частных задач.

Во-первых, нужно создать дискретное, т. е. состоящее из отдельных элементов, световое поле изображения — матрицу светильников.

Во-вторых, надо заставить каждый элемент, образующий экран, светиться, в соответствии с приходящим сигналом изображения, т. е. нужно от каждого элемента сделать выводы и их каким-то образом переключать (коммутировать), причем переключения эти необходимо производить с весьма большими скоростями.

В-третьих, так как многие физические явления, используемые для образования светового поля изображения, при коммутации с необходимой скоростью не обеспечивают достаточной яркости свечения, то приходится применять искусственные методы увеличения яркости изображения.

В качестве световых элементов пытались применять наборы (матрицы) ламп накаливания, газоразрядных элементов, светодиодов, элементов, основанных на инжекционной или предпробойной электролюминесценции, элементов сигнетоэлектриков и жидких кристаллов и т. п. Для коммутации световых элементов матрицы использовали самые различные радиоэлектронные схемы и устройства (фоторезисторы, нелинейные сопротивления, тиристоры, дешифраторы, сдвигающие регистры и др.).

Наконец, для усиления яркости делались попытки применить преобразователи света, инерционные фотопроводники, накопление сигнала в линии задержки, запоминание сигнала с помощью МОП-транзисторов и т. д. Таким образом, направления работ по созданию плоского телевизионного экрана — заменителя кинескопа — были исключительно многообразны и широки. Однако, несмотря на это, проблема создания такого экрана на сегодняшний день не может считаться решенной. Одни экраны не могут обеспечить высокую четкость, требуемую вещательным телевидением, другие не могут дать желательных размеров, третьи дают недостаточную яркость или очень сложны по конструкции и т. п.

Следует все же надеяться, что затрачиваемые усилия дадут свои результаты и плоский телевизионный экран, удовлетворяющий требованиям практики, в недалеком будущем будет создан.

Глава 4

Полный телевизионный сигнал

4.1. Понятие об уровнях и полярности сигнала изображения

Как было рассмотрено в гл. 2, на мишени передающей телевизионной трубки оптическое изображение преобразуется в электрическое в виде потенциального рельефа. Электронный луч, обегая поверхность мишени, коммутирует поочередно все ее элементы и считывает этот потенциальный рельеф. При этом через нагрузку передающей трубки протекают токи заряда (или разряда) элементарных участков, которые и создают напряжение сигнала изображения.

Если при коммутации элементов мишени, соответствующих ярким участкам передаваемого изображения, уровень сигнала на нагрузке повышается, сигнал имеет положительную (позитивную) полярность. Если, наоборот, при коммутации светлых элементов уровень сигнала понижается, сигнал имеет отрицательную (негативную) полярность. Одни передающие телевизионные трубки создают сигнал положительной полярности, а другие — отрицательной.

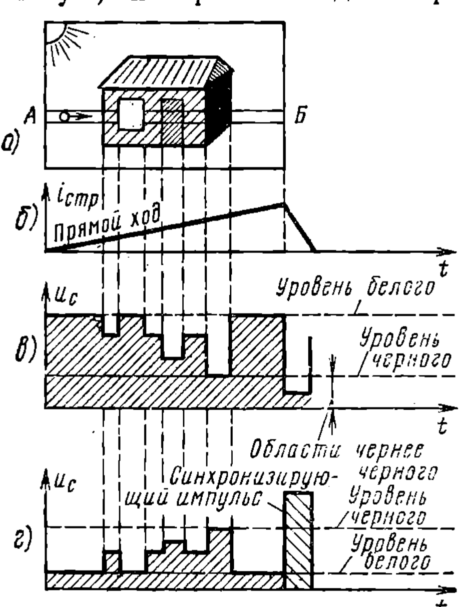


Рис. 4.1. Процесс образования сигнала изображения

В телевизионном приемном устройстве (телевизоре, видеоконтрольном устройстве ВКУ) сигнал положительной полярности следует подавать на управляющий электрод кинескопа, а отрицательной — на его катод. Если сделать наоборот, то на экране кинескопа будет воспроизведено негативное изображение.

Рассмотрим процесс образования сигнала изображения при передаче простейшего изображения, имеющего четыре градации яркости: белое, светло-серое, темно-серое, черное (рис. 4.1*а*).

Допустим, развертывается строка А, Б. Под действием пилообразного тока в строчных откло-

няющих катушках (рис. 4.1*б*) электронный развертывающий луч перемещается по мишени с потенциальным рельефом.

Если передающая трубка вырабатывает сигнал в положительной полярности (рис. 4.1*в*), то сигналы, соответствующие наиболее ярким элементам изображения (фон и окно домика), будут иметь максимальный уровень (уровень белого), а сигналы, соответствующие наиболее темным элементам (теневая сторона домика), — минимальный уровень (уровень черного). Сигналы от элементов, имеющих среднюю освещенность, будут иметь промежуточный уровень.

Время обратного хода по строке используется для передачи строчных синхронизирующих импульсов. Чтобы синхроимпульсы при приеме было легче отделить от сигналов изображения, их надо передавать в области чернее черного.

На рис. 4.1*г* показан тот же сигнал изображения в негативной полярности.

Совокупность сигнала изображения и замешанных в него строчных, кадровых, гасящих и синхронизирующих импульсов называется полным телевизионным сигналом.

4.2. Строчные и кадровые синхронизирующие и гасящие импульсы

Строчные синхронизирующие импульсы предназначены для временно́го согласования работы генераторов строчной развертки передающей и приемной трубок. Длительность этих импульсов в полном телевизионном сигнале меньше времени обратного хода строчной развертки. Поскольку время обратного хода не используется для передачи сигналов изображения, его желательно сделать как можно меньшим. Однако в генераторах развертки, работающих с отклоняющими катушками (т. е. при магнитном отклонении луча), сделать время обратного хода меньше чем 7—8% периода строки обычно не удается. Это объясняется тем, что при уменьшении длительности обратного хода в строчных отклоняющих катушках возникают интенсивные паразитные колебания и снижается помехоустойчивость импульсной синхронизации генератора строчной развертки.

Большое значение придается форме синхроимпульсов. Для точной синхронизации амплитуда импульса должна быть постоянна, а фронт и срез как можно более крутыми (рис. 4.2а), так как они определяют окончание прямого хода строчной развертки и начало обратного хода.

Из-за паразитных колебаний, возникающих в строчных отклоняющих катушках во время обратного хода, линейность развертки нарушается: в начале на импульс тока строчной развертки накладываются остаточные паразитные колебания, а в конце появляются переходные процессы, связанные с возникновением неизбежных флуктуаций сигнала в строчных катушках (рис. 4.2*б*). При паразитных колебаниях в строчных отклоняющих катушках,

в моменты спада отклоняющего тока электронный луч совершает движение по экрану кинескопа вперед, назад и опять вперед (рис. 4.2*е*). Строка прочерчивается лучом трижды, из-за чего участки строк оказываются более яркими и у левого обреза кадра (рис. 4.2*в*) появляются вертикальные «складки» («столбы»).

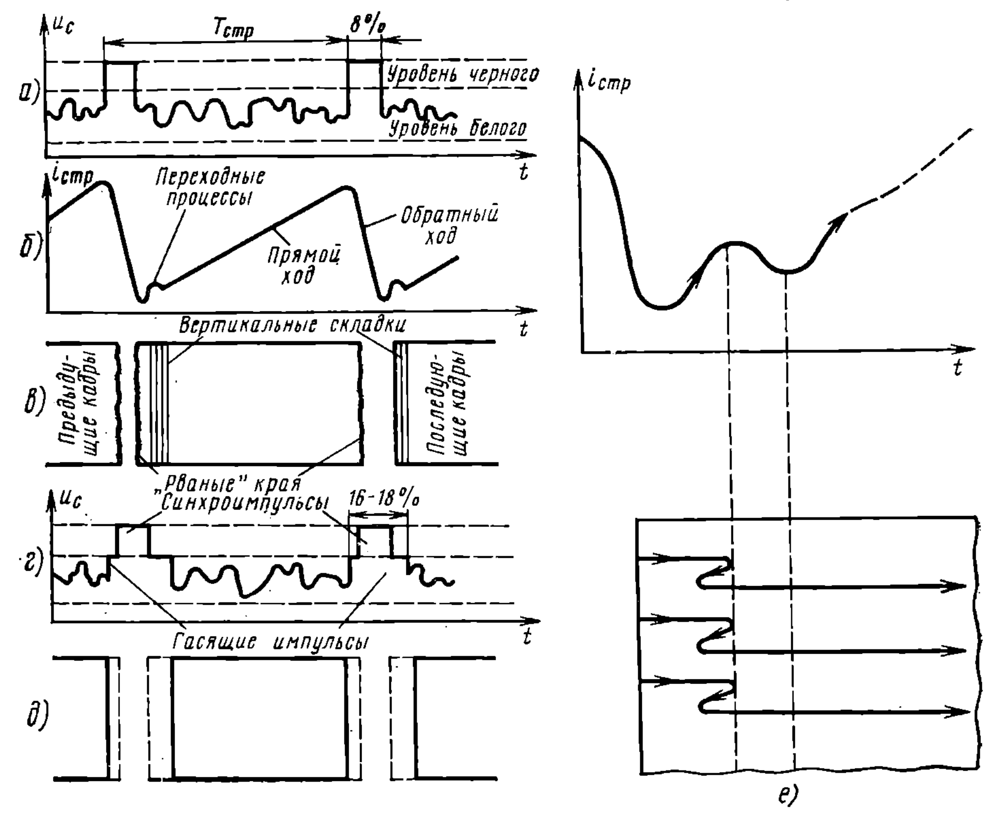


Рис. 4.2. К пояснению формы строчных синхронизирующих и гасящих импульсов:

а — сигнал изображения с замешанными строчными синхроимпульсами; *б* — ток в строчных отклоняющих катушках; *в* — появление на растре вертикальных «складок» и «рваных» краев; *г* — сигнал изображения с замешанными строчными гасящими и синхронизирующими импульсами; *д* — уменьшение размера растра за счет строчных гасящих импульсов; *е* — образование «складок» («столбов») у левого обреза растра

В результате неизбежных флуктуаций сигнала строчной развертки появляется «разброс» в моментах начала и окончания прочерчивания строк лучом на экране кинескопа. Левый и правый вертикальные обрезы растра делаются «рваными» (рис. 4.2*в*).

Поэтому чтобы сделать искажения растра невидимыми, электронный луч необходимо гасить несколько раньше окончания прямого хода и включать позже начала следующего прямого хода. Для этого, кроме строчного синхронизирующего импульса, нужно передавать еще строчной гасящий импульс длительностью боль-

шей, чем у синхронизирующего, а именно 16—18% периода строчной развертки (рис. 4.2*г*).

Вершины гасящих импульсов должны соответствовать уровню черного и служить основанием (пьедесталом) для синхронизирующих импульсов. Так как длительность переходных процессов в начале каждой строки больше, чем в конце, синхроимпульсы располагаются не в середине гасящих импульсов, а несколько ближе к их фронту. Под действием гасящего импульса ширина растра, видимого на экране кинескопа, несколько сокращается (рис. 4.2*д*).

Для упрощения структуры полного телевизионного сигнала в аппаратуре прикладного телевидения, где можно пренебречь искажениями в начале и в конце строк, передают только строчные синхронизирующие импульсы, которые одновременно играют роль гасящих.

В простейшем случае кадровые синхронизирующий и гасящий импульсы отличаются от строчных только длительностью. Длительность кадрового синхронизирующего импульса равна нескольким периодам строчной развертки, что составляет примерно 1% от периода кадровой развертки. Длительность кадрового гасящего импульса — 6—8% от периода кадровой развертки.

4.3. Прохождение полного телевизионного сигнала в приемном устройстве

Рассмотрим функциональную схему простейшего приемного телевизионного устройства (рис. 4.3), на вход которого полный телевизионный сигнал приходит по кабелю. После усиления этот

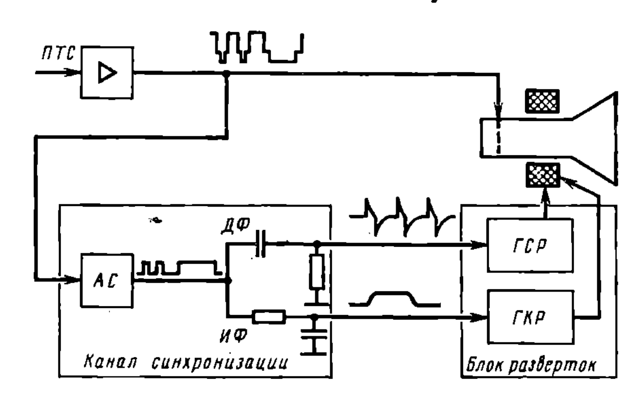


Рис. 4.3. Структурная схема простейшего телевизионного приемника (без высокочастотной части)

сигнал подается на кинескоп: если полярность сигнала положительная, то на управляющий электрод, а если отрицательная — на катод. Сигнал изображения обеспечивает яркостную модуляцию, а гасящие импульсы (строчные и кадровые) запирают луч кинескопа на время обратных ходов. Амплитудный селектор АС (амплитудный отделитель) выделяет из полного телевизионного сигнала синхронизирующие импульсы (строчные и кадровые), которые через два разделительных фильтра — дифференцирующий

ДФ и интегрирующий *ИФ* — поступают на генераторы развертки кинескопа. Амплитудная селекция синхронизирующих импульсов основана на том, что синхронизирующие импульсы передаются в области чернее черного. Синхроимпульсы строчные и кадровые легко отделить от сигнала изображения, используя амплитудное ограничение по минимуму сигнала (при его отрицательной полярности). Полученная при этом последовательность синхроимпульсов поступает на фильтры, которые разделяют импульсы по их длительности.

Предположим, что кадровый импульс имеет простейшую форму (рис. 4.4). Для выделения коротких строчных синхроимпульсов используют дифференцирующую цепь (см. рис. 4.3) с посто-

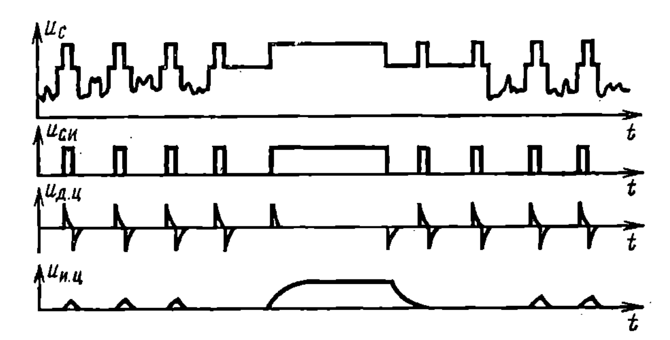


Рис. 4.4. Выделение синхроимпульсов из полного телевизионного сигнала (u_0 — полный телевизионный сигнал, $u_{с.с}$ — сложный синхронизирующий сигнал (синхросмесь) на выходе амплитудного селектора, $u_{д.ц}$ — сигнал после дифференцирующей цепочки, $u_{и.ц}$ — сигнал после интегрирующей цепочки)

янной времени, равной примерно 0,2 длительности строчного синхроимпульса. При этом на сопротивлении R_1 от каждого прямоугольного строчного синхроимпульса возникают два остроконечных импульса: положительный от фронта синхроимпульса (быстрый заряд конденсатора C_1) и отрицательный от среза (быстрый разряд конденсатора C_1).

При дифференцировании кадровых синхронизирующих импульсов получают также два остроконечных импульса: положительный от фронта и отрицательный от его среза.

Генератор строчной развертки кинескопа синхронизируется остроконечными импульсами какой-то одной полярности — обычно положительной.

Для выделения сравнительно длительных кадровых синхроимпульсов в простейших приемных устройствах используют интегрирующий фильтр (см. рис. 4.3) с постоянной времени, примерно равной длительности одной строки $T_{стр}$. Короткие строчные синхронизирующие импульсы зарядить конденсатор интегрирующего фильтра не успевают и дают на его выходе импульсы очень малой амплитуды. Кадровые синхронизирующие импульсы, длительность которых в 2—3 раза больше постоянной времени филь-

тра, успевают зарядить его конденсатор полностью и поэтому проходят через фильтр.

На рис. 4.4 показан процесс выделения синхроимпульсов из полного телевизионного сигнала при отрицательной полярности сигнала.

Так как во время действия кадрового импульса строчных синхронизирующих импульсов нет, генератор строчной развертки приемника переходит в автоколебательный режим и может выйти из синхронизма, вследствие чего несколько первых строк в начале кадра окажутся «сбитыми». Чтобы синхронизация генератора была непрерывной, в кадровом синхронизирующем импульсе делаются «врезки» (рис. 4.5). Генератор строчной развертки синхронизируется положительным импульсом на выходе дифференцирующего фильтра от фронтов синхроимпульсов и срезов «врезок».

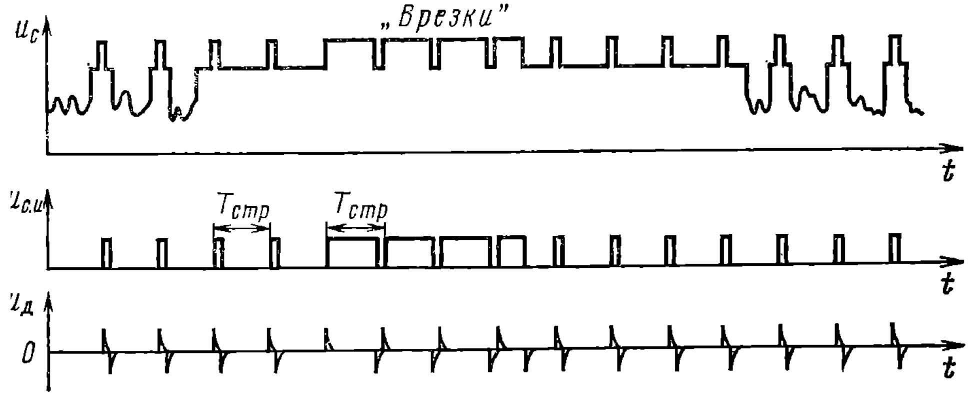


Рис. 4.5. Обеспечение непрерывной синхронизации генератора строчной развертки с помощью «врезок»

4.4. Синхрогенераторы при прогрессивной развертке

Синхрогенератор выдает импульсы, необходимые для управления работой передающих камер и телевизионных приемников. От качества работы синхрогенератора во многом зависит работа всей телевизионной системы.

На рис. 4.6 приведена структурная схема формирования простейшего полного телевизионного сигнала при прогрессивной развертке без гасящих импульсов и отсутствия жесткой связи между частотами строк и кадров. В этом случае роль синхрогенератора могут играть генераторы импульсов блока развертки передающей трубки. Для гашения луча передающей трубки используется смесь импульсов синхронизации. Если требуется жесткая связь между частотами строк кадров, то между генератором колебаний частоты строк и каскадами формирования кадровых импульсов включают делитель частоты с коэффициентом деления, равным числу строк.

Рассмотрим процесс формирования кадровых синхроимпульсов с «врезками» и гасящих импульсов в синхрогенераторе.

Формирование кадровых синхронизирующих импульсов с «врезками». Как было показано выше, непрерывная синхронизация генератора строчной развертки кинескопа в телевизоре достигается «врезками» в кадровом синхроимпульсе через интервалы времени $T_{стр}$, причем для синхронизации

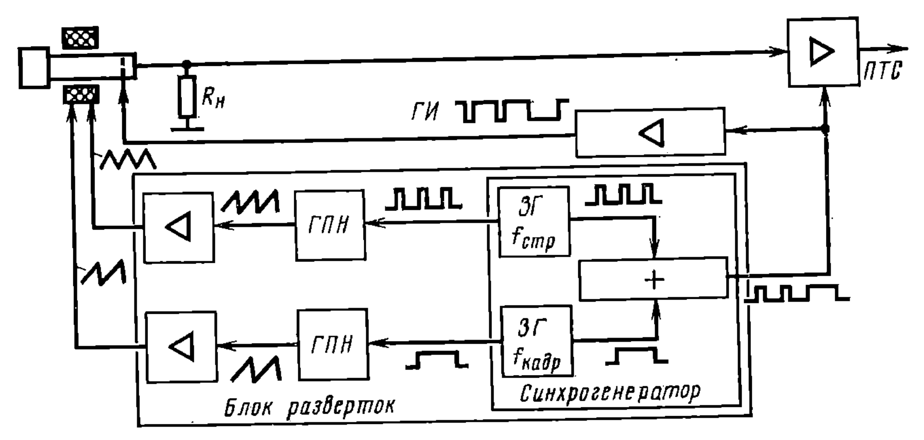


Рис. 4.6. Структурная схема простейшего формирователя полного телевизионного сигнала (без гасящих импульсов и врезок)

используются положительные импульсы, снимаемые с дифференцирующей цепочки, которые соответствуют срезам импульсов «врезок». Поэтому срез первого импульса «врезки» отстоит от фронта кадрового синхроимпульса на время $\tau_{стр}$.

Следовательно, «врезки» представляют собой отрицательные импульсы, срезы которых совпадают с фронтами строчных синхроимпульсов, т. е. «врезки» опережают строчные синхроимпульсы на время, равное длительности импульса «врезок». Так как получить задержку импульсов во времени легче, чем опережение, за опорные принимают импульсы «врезок».

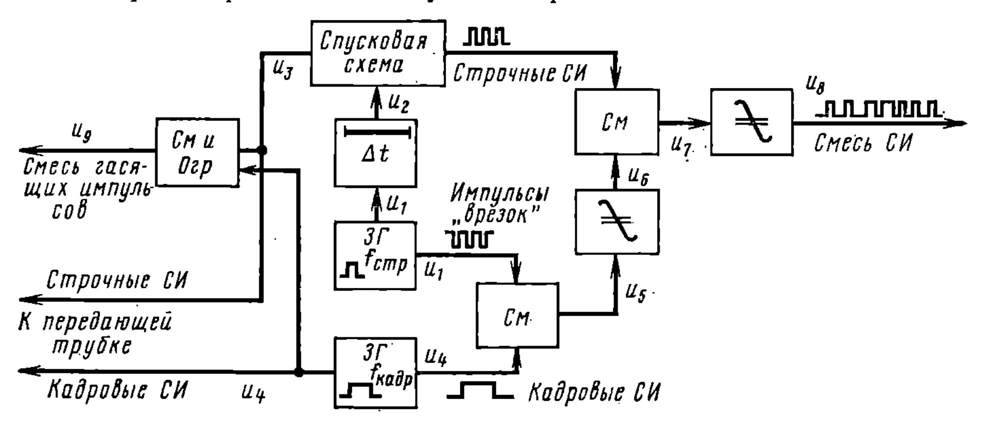


Рис. 4.7. Упрощенная структурная схема синхрогенератора, вырабатывающего кадровые синхроимпульсы с «врезками»

На рис. 4.7 приведена упрощенная структурная схема синхрогенератора, вырабатывающего кадровые синхроимпульсы с «врезками». Рассмотрим работу генератора с помощью временных графиков, изображенных на рис. 4.8. Задающий генератор $f_{стр}$ вырабатывает прямоугольные импульсы «врезок» u_1 строчной частоты отрицательной полярности. Эти импульсы смешиваются в смесителе с кадровыми синхроимпульсами u_4, генерируемыми задающим генератором с $f_{кадр}$, и в кадровых импульсах образуются «врезки» u_5. С выхода смесителя импульсы u_5 поступают на ограничитель, который пропускает только импульсы положительной полярности u_6.

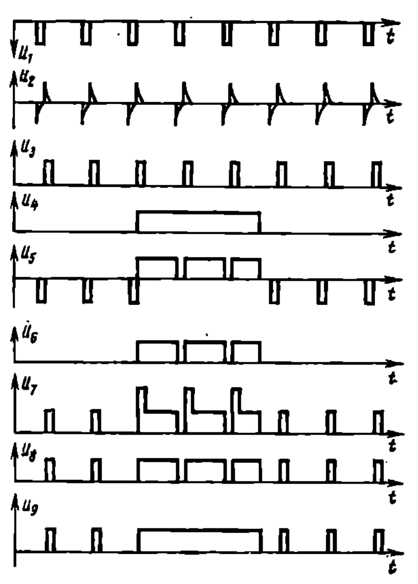


Рис. 4.8. Временные графики напряжений в схеме синхрогенератора, изображенной на рис. 4.7

Для формирования строчных синхроимпульсов u_3 импульсы «врезок» u_1 пропускаются через дифференцирующую цепь, на выходе которой возникает серия коротких импульсов отрицательной и положительной полярности u_2. Импульсы положительной полярности, совпадающие со срезом «врезки», используются для запуска спусковой схемы, вырабатывающей строчные синхроимпульсы u_3. Строчные синхроимпульсы u_3 и кадровый синхроимпульс u_6, складываясь в смесителе, образуют напряжение u_7, которое поступает на ограничитель. После ограничителя получается окончательно сформированный сложный синхросигнал (смесь синхроимпульсов) u_8. В качестве гасящего сигнала передающей трубки u_9 используется смесь импульсов синхронизации u_3 и u_4.

Формирование гасящих импульсов. Выше были рассмотрены синхрогенераторы, в которых вырабатывались только синхронизирующие импульсы, одновременно выполняющие роль гасящих импульсов. В более совершенных синхрогенераторах, кроме синхронизирующих импульсов, вырабатываются еще гасящие импульсы, имеющие большую длительность. Фронт гасящих импульсов должен опережать фронт синхронизирующих импульсов. Так как запаздывание импульса получить легче, чем опережение, то при формировании всех импульсов синхронизации в синхрогенераторе для отсчета времени за опорные принимают фронты гасящих импульсов строк. Необходимая задержка синхронизирующих импульсов относительно опорных получается с помощью спусковых устройств или эквивалентов длинных линий с отводами.

4.5. Форма сигнала синхронизации при чересстрочной развертке

Как было показано в гл. 1, для чересстрочной развертки необходима жесткая синхронизация между генераторами строчной и кадровой разверток, а номинальное число строк должно быть обязательно нечетным. Рассмотрим форму полного сигнала синхронизации при чересстрочной развертке на примере принятого в СССР стандарта телевизионного вещания (ГОСТ 7845—79).

Основные параметры полного телевизионного сигнала в соответствии со стандартом следующие;

Номинальное число строк	$Z=625$
Число кадров в одну секунду	$n=25=k_{кадр}$
Число полей (полукадров) в одну секунду	$2n=50=2k_{кадр}$
Длительность кадрового синхроимпульса	$2{,}5T_{стр}$
Длительность кадрового гасящего импульса	$2{,}5T_{стр}$
Интервал времени между фронтами кадрового синхроимпульса и кадрового гасящего импульса	$2{,}5T_{стр}$

При синхронизации генератора кадровой развертки приемника фронт каждого кадрового синхроимпульса определяет начало обратных кадровых ходов. Поскольку номинальное число строк Z при чересстрочной развертке должно быть обязательно целым и нечетным, фронт одного из кадровых синхроимпульсов должен совпадать с одним из строчных синхроимпульсов, а фронт другого кадрового синхроимпульса должен приходиться на середину строки, т. е. отстоять от фронта ближнего строчного синхроимпульса на интервал времени $T_{стр}/2$. Для непрерывной синхронизации строчного генератора развертки приемной трубки в кадровых синхроимпульсах должны быть сделаны «врезки» через интервалы времени $T_{стр}/2$.

Кадровые синхроимпульсы, соответствующие полукадрам из нечетных и четных строк, различаются по структуре. Объясняется это тем, что нечетный кадровый синхроимпульс (рис. 4.9*а*) следует за строчным синхроимпульсом через интервал времени $T_{стр}/2$ и, следовательно, первая «врезка» отстоит по времени от фронта тоже на $T_{стр}/2$.

После интегрирования синхроимпульсов (рис. 4.9*б*) фронт нечетного импульса оказывается менее крутым, чем четного.

Из-за разницы в крутизне фронтов четные кадровые синхроимпульсы будут прекращать прямые четные полукадровые ходы несколько раньше и, следовательно, длительность прямых нечетных полукадровых ходов будет меньше четных. Это недопустимо, так как может привести к нарушению точного чередования четных и нечетных строк и вызовет их спаривание и даже наложение («слипание») (рис. 4.10). Чтобы обеспечить точное чередование четных и нечетных строк, необходимо сделать структуру четных и нечетных кадровых синхроимпульсов одинаковой. Для этого «врезки» делают в 2 раза чаще — через интервалы времени $T_{стр}/2$. Но все же из-за того, что первый кадровый синхроимпульс отстоит от строчного на $T_{стр}/2$, а второй — на $T_{стр}$, некото-

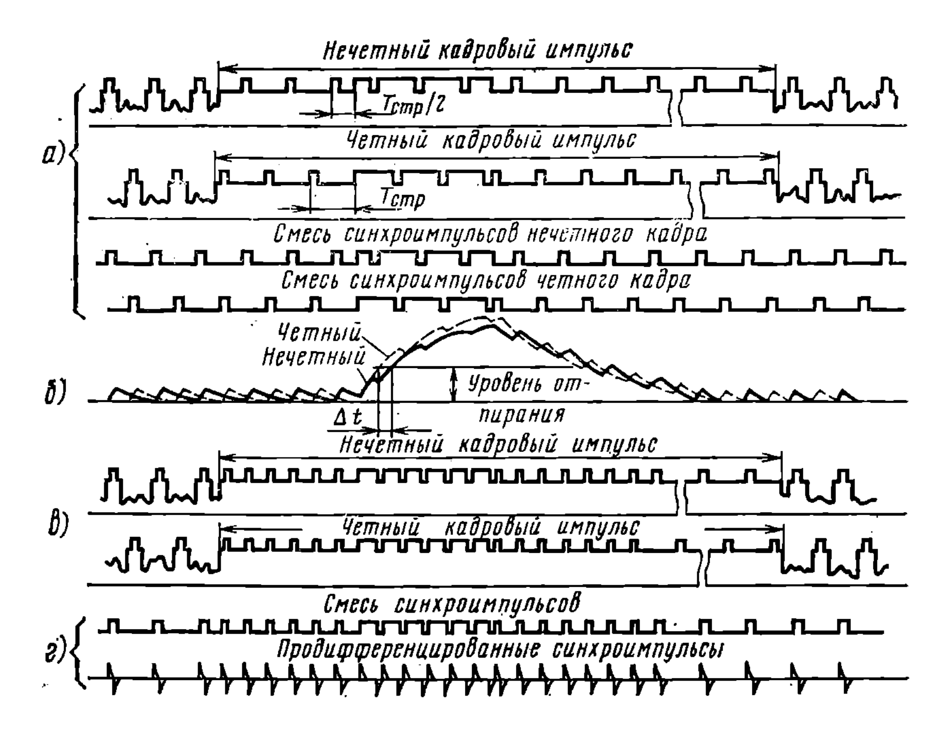


Рис. 4.9. Структура полного телевизионного сигнала при чересстрочной развертке

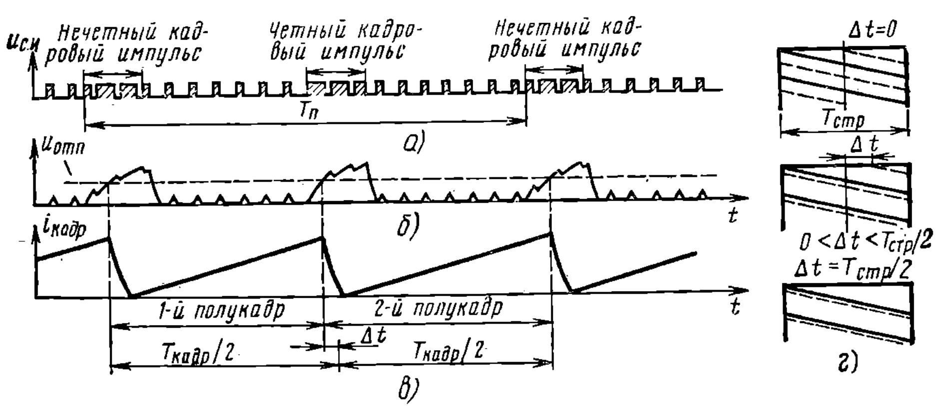


Рис. 4.10. Спаривание и «слипание» четных и нечетных строк при нарушении синхронизации генератора кадровой развертки приемной трубки (уравнивающих импульсов нет):

а — смесь синхроимпульсов на выходе амплитудного селектора; *б* — импульсы на выходе интегрирующей цепочки ($U_{отп}$ — уровень отпирания задающего генератора кадровой развертки); *в* — форма тока в кадровых отклоняющих катушках кинескопа; *г* — изображение растра на экране кинескопа при точном переплетении четных и нечетных строк ($\Delta t=0$), при спаривании строк ($0<\Delta t<T_{стр}/2$) и при наложении («слипании») строк ($\Delta t=T_{стр}/2$)

рая разница в крутизне фронтов проинтегрированных кадровых импульсов может возникнуть, так как в первом случае конденсатор интегрирующей ячейки может не успеть полностью разрядиться.

Чтобы устранить и эту причину нарушения точного чередования строк, впереди и позади кадрового синхроимпульса формируются по пять «уравнивающих» импульсов, следующих один за другим через интервалы времени $T_{стр}/2$ и, следовательно, имеющих удвоенную строчную частоту повторения (см. рис. 4.9*в*). При этом длительность «уравнивающих» импульсов и «врезок» делается в 2 раза короче длительности строчных синхроимпульсов.

Включение в сложную синхросмесь импульсов двойной строчной частоты (уравнивающих и «врезок») не нарушает нормальную синхронизацию генератора строчной развертки. Генератор строчной развертки синхронизируется каждым вторым импульсом, т. е. работает в режиме деления частоты на два (см. рис. 4.9*г*).

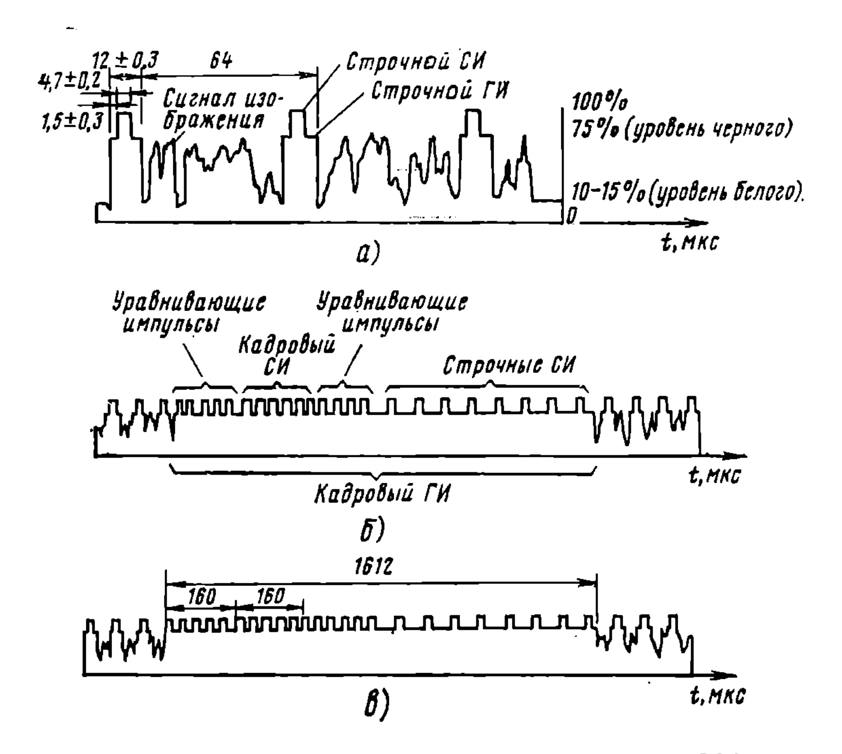


Рис. 4.11. Форма полного телевизионного сигнала, принятая в СССР для телевизионного вещания:
а — форма ПТС в интервале двух строк; *б* — нечетный кадровый импульс; *в* — четный кадровый импульс

Как видно из всего изложенного, форма полного телевизионного сигнала при чересстрочной развертке значительно сложнее, чем при прогрессивной (рис. 4.11).

4.6. Синхрогенераторы при чересстрочной развертке

Известны три варианта построения синхрогенераторов при чересстрочной развертке:

1. За опорную частоту выбирается частота уравнивающих импульсов, равная удвоенной частоте строк $2f_{\text{стр}}$. Импульсы строчной частоты $f_{\text{стр}}$ получаются путем деления опорной частоты на два, а импульсы частоты полей $2f_{\text{п.кадр}}$ — путем деления опорной частоты на коэффициент, равный числу строк.

Жесткая связь между частотой строк и частотой кадров обеспечивает автоматически чередование четных и нечетных строк.

2. Генератор строчных импульсов и генератор кадровых импульсов взаимно не синхронизированы. Вместо жесткой связи по частоте используется жесткая связь по фазе: в начале каждого поля (полукадра) кадровый синхроимпульс «привязывается» поочередно то к началу строки, то к ее середине [4.4 и 4.5].

3. Все необходимые импульсы (синхронизирующие строчные и кадровые, гасящие и уравнивающие) в необходимой последовательности записываются на магнитном барабане — каждый импульс или каждая группа импульсов на отдельной дорожке [4.2]. В процессе работы импульсы считываются с помощью магнитных головок. Фазовые сдвиги между импульсами легко регулировать путем смещения магнитных головок вдоль дорожек. Таким образом, при данном способе формирования полного телевизионного сигнала из системы синхрогенератора можно исключить следующие элементы: все делители частоты; цепи задержки импульсов во времени; ключевые устройства для выделения групп импульсов. Кроме того, число строк z может быть произвольным нечетным числом.

Необходимая последовательность импульсов записывается на магнитном барабане с эталонного синхрогенератора или путем медленного вращения барабана с помощью делительной головки и подачи в записывающие головки требуемых импульсов постоянного тока.

Такой способ формирования строчных и кадровых синхроимпульсов пригоден и при прогрессивной развертке, если требуется строго постоянное число строк в кадре.

В телевизионном вещании обычно применяются синхрогенераторы, построенные по первой схеме (опорной частотой является $2f_{\text{стр}}$).

Основным элементом синхрогенератора (рис. 4.12) является задающий генератор *ЗГ*, вырабатывающий импульсы опорной частоты $2f_{\text{стр}}$. С помощью импульсных делителей частоты $Д_1$ и $Д_2$ вырабатываются импульсы с частотой строк $f_{\text{стр}}$ и частотой полей

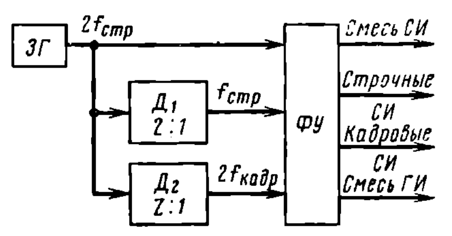


Рис. 4.12. Упрощенная структурная схема синхрогенератора для чересстрочной развертки

$2f_{стр}$. Формирующее устройство *ФУ* содержит смесители, ограничители, ключевые устройства, цепи для задержки импульсов и служит для формирования всех составляющих импульсов, образующих полный телевизионный сигнал (в соответствии с рис. 4.11).

Существуют следующие типы импульсных делителей частоты: ступенчатые счетчики импульсов; импульсные генераторы в режиме деления частоты; импульсные генераторы, стабилизированные эквивалентом длинной линии; цепочки триггеров на транзисторах или микросхемах; феррит — транзисторные ячейки.

Ступенчатые делители частоты (счетчики импульсов) очень чувствительны к колебаниям питающих напряжений и в настоящее время почти не используются.

Импульсные генераторы, собранные по обычным схемам мультивибраторов или блокинг-генераторов, в режиме деления не отличаются высокой стабильностью и используются в упрощенных синхрогенераторах прикладных телевизионных установок.

Принцип работы такого делителя основан на том, что импульсный генератор (блокинг-генератор или мультивибратор) опрокидывается не каждым очередным импульсом, а, например, каждым третьим (подробнее смотри гл. 5).

Импульсные генераторы, стабилизированные эквивалентом длинной линии, обеспечивают высокое постоянство коэффициента деления, но громоздки и в современных синхрогенераторах не применяются. Недостаток *феррит-транзисторных* ячеек — плохие температурные характеристики. Поэтому почти во всех современных синхрогенераторах используются делители частоты на *транзисторных триггерах.*

Триггер представляет собой устройство, имеющее два устойчивых состояния равновесия. Переход из одного в другое происходит скачкообразно под воздействием управляющего импульса. На рис. 4.13*а* показана схема типовой триггерной ячейки на тран-

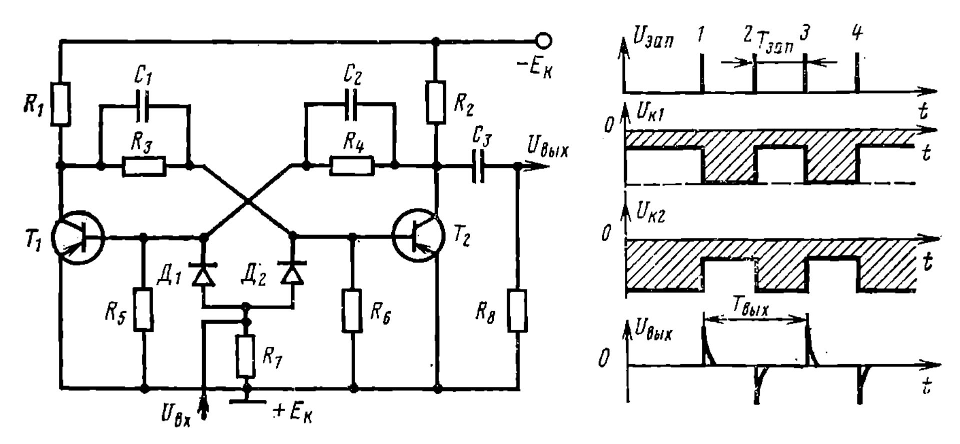


Рис. 4.13. Схема триггерной ячейки на транзисторах и эпюры напряжений ($T_{вых} = 2T_{зап}$; $F_{вых} = F_{зап}/2$)

зисторах. Симметричный триггер представляет собой двухкаскадный реостатный усилитель, у которого выход одного каскада соединен со входом другого через потенциометрический делитель напряжения. Оба плеча триггера симметричны: $R_1=R_2$, $R_3=R_4$, $R_5=R_6$, $C_1=C_2$.

Параметры схемы подобраны так, что при запертом транзисторе T_1 обязательно будет открыт транзистор T_2 и, наоборот, при запертом транзисторе T_2 транзистор T_1 будет открыт. Переход триггера из одного устойчивого состояния в другое происходит при подаче на вход импульсов положительной полярности, которые запирают тот транзистор, который в данный момент открыт. Выходной сигнал, который можно снимать с любого из коллекторов, будет иметь форму прямоугольных импульсов. Дифференцирующая цепочка R_8C_3 позволяет получить на выходе последовательность биполярных импульсов. Как видно из рис. 4.13*б*, частота следования выходных импульсов одной полярности (либо положительная, либо отрицательная) в 2 раза ниже частоты следования входных пусковых импульсов. Таким образом, триггерная ячейка является делителем частоты следования импульсов в 2 раза и поэтому называется двоичной или *бинарной ячейкой.*

Конденсаторы C_1 и C_2 служат для убыстрения процесса переключения триггера. Диоды $Д_1$ и $Д_2$ не пропускают на базы транзисторов импульсы отрицательной полярности.

Рассмотрим импульсные делители частоты на триггерных ячейках. Импульсный делитель представляет собой цепочку бинарных ячеек (триггерных). Связи между ячейками осуществляются с помощью дифференцирующих *RC*-цепей.

Будем считать, что упрощенные схемы триггерных ячеек (рис. 4.14*б*) соответствуют схеме триггера рис. 4.13 и в исходном состоянии левая половина всех ячеек (т. е. транзисторы T_1) закрыта. На упрощенных структурных схемах каждый триггер обозначен условно в виде прямоугольника, заштрихованная половина которого обозначает закрытое плечо триггера. Тогда первый запускающий импульс положительной полярности опрокидывает первый триггер, и на выходе его, после дифференцирования, появится отрицательный импульс, который опрокинуть второй триггер не сможет. Опрокидывание второго триггера произойдет только после прихода на вход делителя второго пускового импульса, когда первый триггер перейдет в исходное состояние и на его выходе появится положительный импульс. После опрокидывания второго триггера на его выходе появится отрицательный импульс, который не может опрокинуть третий триггер. Очевидно, что первое опрокидывание третьего триггера произойдет только после прихода на вход делителя четвертого положительного импульса.

При первом опрокидывании на выходе третьего триггера появляется отрицательный импульс. Положительный импульс на выходе третьего триггера появится только после прихода на вход делителя восьмого пускового импульса, т. е. когда первый триггер опрокинется в четвертый раз. Коэффициент деления час-

тоты повторения импульсов делителем на триггерных ячейках равен $K=2^n$, где n — число триггерных ячеек. Например, при $n=2$ $K=2^2=4$; при $n=3$ $K=2^3=8$. Из формулы и примера видно, что K — всегда четное число.

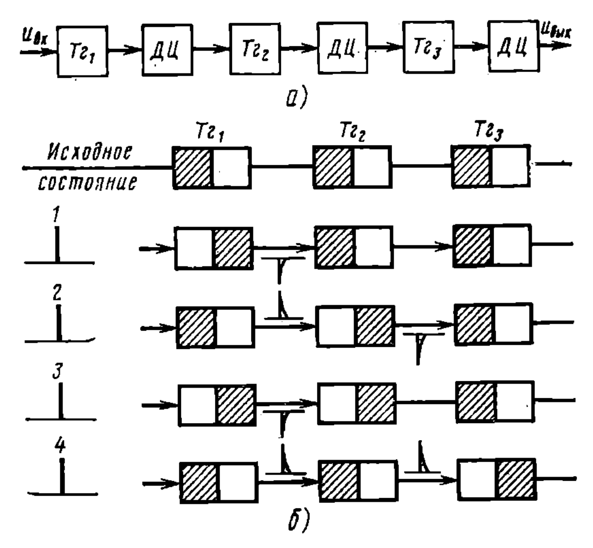


Рис. 4.14. Процесс деления частоты:
а — структурная схема импульсного делителя частоты на триггерах; б — пояснение принципа его работы с помощью упрощенной структурной схемы

Но в синхрогенераторах для чересстрочной развертки коэффициент должен быть нечетным числом. Оказывается, что вводя в цепочку делителей обратные связи, можно получить любой коэффициент деления.

В качестве примера рассмотрим работу делителя, состоящего из двух триггерных ячеек, у которого с выхода второго триггера напряжение обратной связи подается на вход первого триггера рис. 4.15. В цепь обратной связи входят дифференцирующая цепь и ограничитель (диод), который пропускает только положительные импульсы. Как видно из графика, после каждого четвертого входного пускового импульса с выхода делителя, по цепи обратной связи, на вход делителя будут поступать дополнительные импульсы положительной полярности. В результате запаздывания в цепях формирования эти дополнительные импульсы будут поступать с некоторым временны́м сдвигом, т. е. на входе будет появляться как бы лишний импульс.

Этот лишний импульс будет вызывать дополнительное срабатывание (опрокидывание) первого триггера, и длительность положительного импульса на выходе второго триггера станет в 2 раза короче интервала между импульсами. В результате кратность деления сократится на единицу и станет равной трем.

Изменяя способ подачи на вход делителя напряжения обратной связи, можно вместо появления лишнего импульса добиться пропуска одного импульса, и тогда кратность деления станет больше на единицу и будет равна 5.

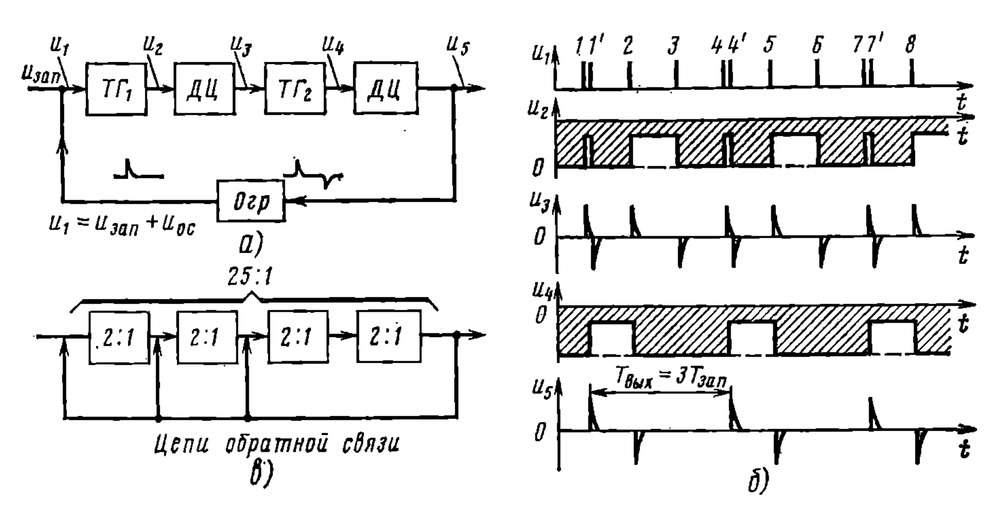


Рис. 4.15. Триггерные делители частоты с произвольным коэффициентом деления:
а — структурная схема делителя (К=3 : 1); *б* — эпюры напряжений на делителе (К=3 : 1); *в* — структурная схема делителя (К=25 : 1)

На рис. 4.15*в* показана структурная схема стандартного пятизвенного делителя с коэффициентом деления, равным 25. В синхрогенераторах устанавливается два таких делителя (25×25= =625).

Делители на триггерах работают очень устойчиво, надежны в работе, просты в регулировке.

4.7. Формирование полного телевизионного сигнала

В качестве примера рассмотрим упрощенную структурную схему формирования полного телевизионного сигнала на телевизионном центре (рис. 4.16).

Как уже было сказано в гл. 2, сигнал изображения, создаваемый передающей телевизионной трубкой, имеет малый уровень (в зависимости от типа трубки в пределах от 10 до 150 мВ), и поэтому необходим предварительный усилитель *ПрУ*, обеспечивающий согласование с камерным кабелем и поднимающий уровень сигнала до значения 0,2—0,3 В.

Сигнал с камерного кабеля поступает в аппаратную, где для каждого камерного канала имеется своя стойка, в которой установлен промежуточный усилитель *ПУ*. В промежуточном усилителе сигнал изображения подвергается обработке: в него вводится сигнал компенсации неравномерности фона (компенсации

«черного пятна»), замешиваются строчные и кадровые гасящие импульсы, корректируются частотные, нелинейные и апертурные искажения; уровень сигнала на выходе усилителя поднимается до 1 В.

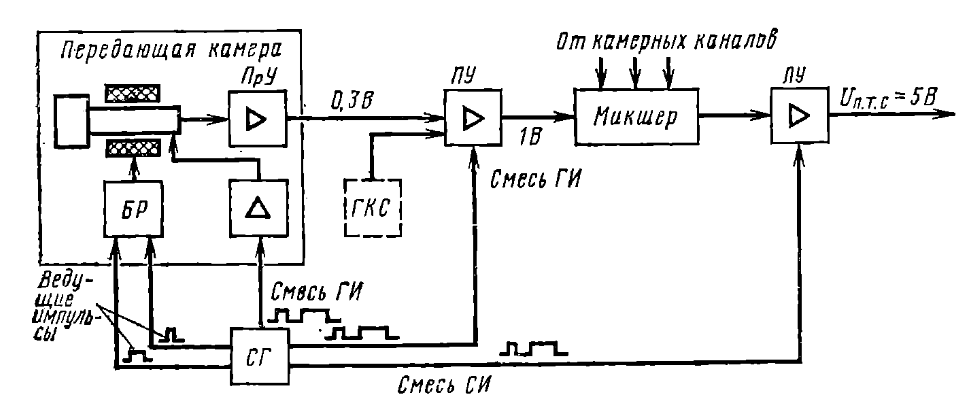


Рис. 4.16. Упрощенная структурная схема формирования полного телевизионного сигнала на телевизионном центре (*БР* — блок развертки, *СГ* — синхрогенератор, *ГКС* — генератор компенсирующих сигналов, *ГИ* — гасящие импульсы, *СИ* — синхроимпульсы)

Сигналы изображения с выходов всех камерных каналов поступают на микшерно-коммутирующее устройство, с помощью которого осуществляются кнопочное переключение (коммутация) сигналов от различных камерных каналов и их смешивание (микширование) [1].

С выхода микшерно-коммутационного устройства изображение поступает на вход линейного усилителя *ЛУ*, где в него замешиваются строчные и кадровые синхронизирующие импульсы, и таким образом заканчивается формирование полного телевизионного сигнала.

Полный телевизионный сигнал поступает в кабельную линию, соединяющую аппаратную с передающей телевизионной радиостанцией.

Глава 5

Развертывающие устройства и их синхронизация

5.1. Общие сведения

Параметры развертывающих устройств. В гл. 1 говорилось, что в подавляющем большинстве современных телевизионных систем развертка изображений, т. е. преобразование яркости или

[1] От англ. слова «Mixer» — смеситель.

цветности отдельных элементов изображения в электрические сигналы на передающей стороне и преобразование электрических сигналов в изображение на приемной стороне, осуществляется с помощью электронно-лучевых трубок. Электронные лучи этих трубок отклоняются по горизонтали (строчная развертка) и по вертикали (кадровая развертка) магнитными полями, создаваемыми отклоняющими катушками, по которым протекают пилообразные токи. Эти токи вырабатываются специальными генераторами развертки.

Свойства, параметры и требования, предъявляемые к генераторам строчной и кадровой разверток, частично одинаковы, частично же существенно различаются.

Из общих требований, предъявляемых к этим генераторам, можно назвать следующие:

линейность нарастания тока в отклоняющих катушках;

обеспечение необходимой амплитуды тока в них;

независимость регулировки частоты, амплитуды и линейности пилообразного тока;

стабильность частоты и амплитуды;

максимальная экономичность по потребляемому току.

Параметры, различные для строчных и кадровых развертывающих устройств, обусловлены значительным отличием их рабочих частот (15 625 Гц — для генератора строчной развертки и 50 Гц — для кадровой, т. е. в 312,5 раз ниже) и приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Параметры	Развертка	
	строчная	кадровая
Номинальная частота, Гц	$15\,625 \pm 3$	50
Период, мкс	$H = 64$	20 000
Длительность гасящего импульса, мкс	$a = 12 \pm 0{,}3$	$25\,H + a \approx 1600$
Потеря времени на обратный ход, отн. ед.	0,187	0,08
Нелинейные искажения растра, %, не более для телевизоров:		
I класса	10	8
II класса	12	9
III класса	15	12

Так как переменные токи и напряжения, создаваемые генераторами разверток, резко отличаются от синусоидальных, то развертывающие устройства должны пропускать, кроме основной частоты, еще по крайней мере двадцать гармоник. Для кадровой развертки это будет сравнительно узкая полоса частот — до 1 кГц (50×20). Создать кадровое развертывающее устройство с такой полосой не составит большого труда. В генераторах строч-

ной развертки верхняя граница спектра частот оказывается довольно высокой ($15\,625\times20\approx300$ кГц), поэтому здесь необходимо учитывать паразитные емкости, потери на вихревые токи, применять высокочастотные магнитные материалы (ферриты) и т. д.

Из-за большого различия рабочих частот различен характер нагрузок генераторов строчной и кадровой разверток, строчные отклоняющие катушки имеют в основном индуктивное, а кадровые катушки — активное сопротивление.

Отклоняющие катушки. Конструкция катушек отклоняющей системы, их форма, распределение витков, применение в них экранов или ферритовых сердечников прошли длительный путь своего развития и совершенствования, пока не удалось добиться с их помощью равномерного отклонения луча на достаточно большие углы, высокой надежности их работы, технологичности изготовления и т. п. В итоге длительных поисков были разработаны и освоены в производстве нормализованные (типовые) конструкции отклоняющих систем ОС.

Чтобы электронный луч при отклонении не задевал за горловину колбы и чтобы вследствие этого не образовывались затемнения углов растра, переход горловины в конусную часть в современных трубках делают плавным (по дуге окружности или по параболе), а отклоняющую систему — расширяющейся и надвигают ее на конусную часть трубки (см. рис. 3.15*в*).

Число ампер-витков, необходимое для отклонения электронного луча на экране трубки на угол $2\varphi=70°$, может быть найдено по (3.9).

Для трубок с углом отклонения $2\varphi=110°$

$$Iw=0{,}5\,k_{п}d_{см}\,\mathrm{tg}\,\varphi\sqrt{U_{а}}. \qquad (5.1$$

Так как кадровые катушки в ОС-110 короче и дальше от горловины, чем строчные, то поправочный коэффициент $k_{п.кадр}>k_{п.стр}$, а именно $k_{п.стр}=1$, а $k_{п.кадр}=1{,}6$.

Ф о р м а т о к а. Для получения неискаженных изображений ток в отклоняющих катушках должен иметь правильную пилообразную форму.

Практически оказалось трудным получить идеально линейное изменение тока. Как правило, получается кривая, приведенная на рис. 5.1*а*. Для оценки нелинейности изменения отклоняющего тока вводится коэффициент нелинейности

$$k_{н}=\frac{\mathrm{tg}\,\alpha_{н}-\mathrm{tg}\,\alpha_{к}}{\mathrm{tg}\,\alpha_{ср}}=\frac{|\Delta i/\Delta t|_{н}-|\Delta i/\Delta t|_{к}}{|\Delta i/\Delta t|_{ср}}. \qquad (5.2)$$

При идеально линейной «пиле» угол наклона кривой в начале прямого хода $\alpha_{н}$ (или $\mathrm{tg}\,\alpha_{н}$) равен углу наклона в конце прямого хода $\alpha_{к}$ (или $\mathrm{tg}\,\alpha_{к}$). Разность этих величин, а следовательно, и коэффициент нелинейности равны нулю.

Фактический же угол наклона в начале кривой обычно больше угла наклона в конце и коэффициент нелинейности имеет некото-

рое конечное значение. Полагая, что $|\Delta i/\Delta t|_{ср}=0{,}5|\Delta i/\Delta t|_{н}+$ $+|\Delta i/\Delta t|_{к}$, находим

$$k_{н}=2\frac{|\Delta i/\Delta t|_{н}-|\Delta i/\Delta t|_{к}}{|\Delta i/\Delta t|_{н}+|\Delta i/\Delta t|_{к}}\cdot 100\%. \qquad (5.3)$$

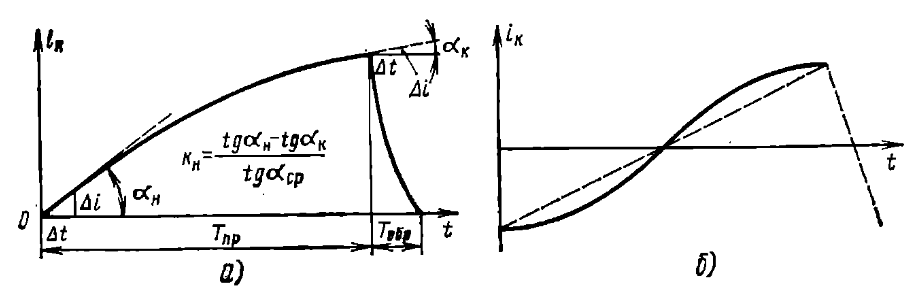


Рис. 5.1. Форма тока в отклоняющих катушках:
а — нелинейная кривая отклоняющего тока и определение ее коэффициента нелинейности; *б* — S-образная форма отклоняющего тока для кинескопов с большими экраном и углом отклонения

Поскольку найти значения $\Delta i/\Delta t$ сравнительно трудно, коэффициент нелинейности обычно определяют по изображению на экране сетчатого или шахматного поля или испытательной таблицы.

Как уже отмечалось, из-за несовпадения центра (см. рис. 3.16) кривизны экрана с центром отклонения луча происходят симметричные искажения изображений. Для борьбы с ними приходится вместо линейного пилообразного тока питать отклоняющие катушки S-образным током (см. рис. 5.1*б*).

Форма напряжения. Отклоняющие пилообразные токи можно получить с помощью специального автоколебательного генератора пилообразного тока. Но, оказалось, что проще и удобнее получить пилообразный ток преобразованием пилообразного напряжения.

Выясним, какое напряжение необходимо подать на отклоняющие катушки, чтобы по ним протекал пилообразный ток.

Отклоняющие катушки можно представить в виде эквивалентной схемы (рис. 5.2*а*), в которой имеется идеальная индуктивность $L_{к}$ и активное сопротивление $R_{к}$. Предположим, что по катушке уже протекает пилообразный ток $i_{к}$ (рис. 5.2*б*). Тогда напряжение на активном сопротивлении $U_{R}=I_{к}R_{к}$ будет повторять форму протекающего тока. Для простоты допустим, что во время обратного хода ток в отклоняющих катушках также изменяется по линейному закону. В этом случае возникающая в катушке ЭДС самоиндукции e_{L} постоянна. При переходе от прямого хода к обратному ток в катушке начинает убывать и знак ЭДС самоиндукции изменяется на обратный. Поскольку во время обратного хода скорость изменения тока значительно больше, чем во время прямого хода, ЭДС самоиндукции будет тоже соответственно больше.

Падение напряжения на индуктивности уравновешивает ЭДС самоиндукции: $U_L = -e_L$ (см. рис. 5.2*б*). Напряжение, которое нужно приложить к отклоняющим катушкам для получения в них пилообразного тока, равно сумме падения напряжений на ин-

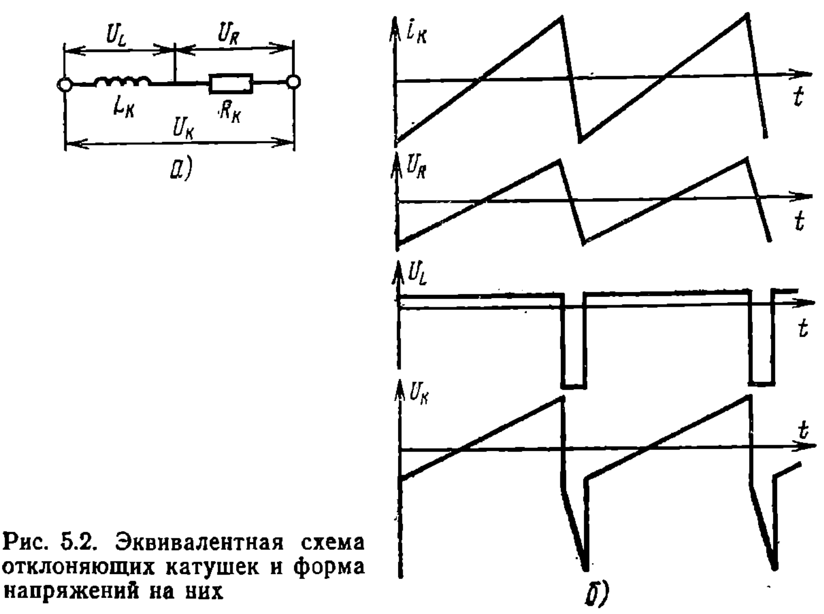


Рис. 5.2. Эквивалентная схема отклоняющих катушек и форма напряжений на них

дуктивности и на активном сопротивлении: $U_к = U_R + U_L$. Как видно из рис. 5.2*б*, это напряжение должно иметь *пилообразно-импульсную форму*.

Структурная схема развертывающего устройства приведена на рис. 5.3. Она состоит из задающего генератора коротких пря-

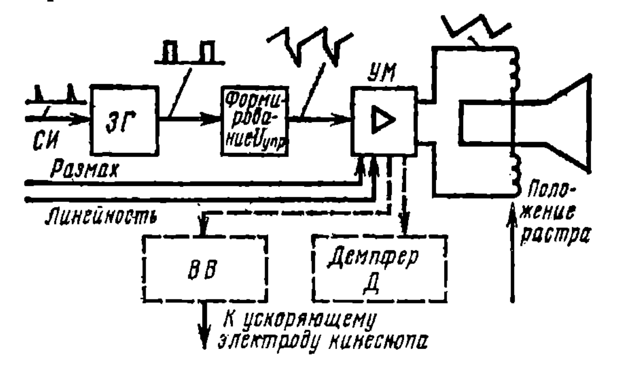


Рис. 5.3. Структурная схема развертывающего устройства (*ЗГ* — задающий генератор, *УМ* — усилитель мощности, *ВВ* — высоковольтный выпрямитель)

моугольных импульсов *ЗГ*, синхронизируемого поступающими на генератор импульсами, ступени формирования управляющего напряжения и выходной ступени (усилителя мощности *УМ*), нагрузкой которой являются отклоняющие катушки. Собственная частота задающего генератора для обеспечения режима импульсной синхронизации должна быть несколько ниже частоты синхроимпульсов. Ступень формирования управляющего напряжения пред-

назначена для создания пилообразно-импульсного напряжения.

В транзисторных телевизорах пилообразное напряжение, вырабатываемое задающим генератором или ступенью формирования, часто бывает недостаточным для нормальной работы выходного каскада. В таких случаях между задающим генератором и выходным каскадом ставят один-два каскада предварительного усиления.

Выходная ступень является усилителем мощности, нагруженным на отклоняющие катушки. В ламповых телевизорах отклоняющие катушки связаны с выходной лампой через выходной трансформатор (ТВК — трансформатор выходной кадровый и ТВС — трансформатор выходной строчной), в транзисторных телевизорах часто применяется дроссельное включение отклоняющих катушек.

В выходных каскадах развертывающего устройства нередко осуществляется регулировка размаха и линейности отклоняющего тока. Генератор строчной развертки дополнительно содержит высоковольтный выпрямитель *ВВ* и демпфер (показаны на рис. 5.3 пунктиром).

Замена радиоламп транзисторами, как правило, позволяет значительно сократить потребляемую мощность (см. гл. 9, табл. 9.2), габариты и массу аппаратуры, повысить ее срок службы и надежность в работе. Но, к сожалению, транзисторам присущи и серьезные недостатки, которые затрудняют широкое применение их в мощных каскадах.

Хорошие транзисторы для выходных каскадов видеоусилителей и развертывающих устройств (достаточной мощности и выдерживающие необходимые напряжения) пока еще весьма дóроги. Входные цепи выходных каскадов развертывающих устройств на транзисторах относительно сложны.

В результате из 65-миллионного парка телевизоров не насчитывается и миллиона собранных полностью на транзисторах. Остальные телевизоры собраны либо целиком на лампах, либо с частичным использованием транзисторов. Таким образом, подавляющее большинство телевизоров работает на лампах и предавать их забвению пока еще преждевременно. Поэтому в данной главе рассмотрены устройство и работа как ламповых, так и транзисторных развертывающих устройств.

5.2. Задающие генераторы

Блокинг-генератор. В качестве задающих генераторов в транзисторных телевизорах применяются блокинг-генераторы. В ламповых телевизорах наряду с блокинг-генераторами довольно часто встречаются несимметричные мультивибраторы и некоторые другие типы генераторов (например, генераторы на тиратроне).

Блокинг-генератор представляет собой однокаскадный импульсный генератор с сильной положительной обратной связью, которая осуществляется с помощью импульсного трансформатора с магнитным сердечником.

Импульсы, даваемые блокинг-генератором, близки к прямоугольным, имеют весьма крутые фронты и большую скважность.

Блокинг — означает запирающийся. Транзистор или лампа блокинг-генератора отпирается только при генерации импульса, а затем значительную долю периода они заперты. Вследствие этого средний ток блокинг-генератора весьма мал, он потребляет незначительную мощность и требует только одной маломощной лампы или транзистора. К тому же блокинг-генераторы легко и хорошо синхронизируются.

Блокинг-генераторы, собранные на транзисторах, по сравнению с мультивибраторами обладают более высокой стабильностью собственной частоты при изменениях окружающей температуры и колебаниях напряжения источников питания. Они некритичны к разбросу параметров применяемых транзисторов и позволяют получить большую мощность в импульсе по сравнению с другими типами задающих генераторов развертки.

Рассмотрим работу блокинг-генератора на транзисторе (рис. 5.4*а*). При включении питания в коллекторной цепи появится ток

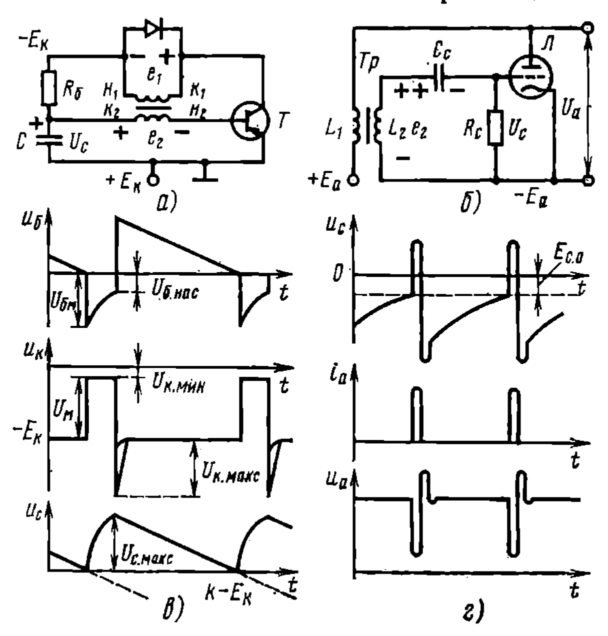


Рис. 5.4. Основные схемы блокинг-генераторов на транзисторе и лампе; форма колебаний в его цепях

$i_к$. Проходя по первичной обмотке трансформатора, он наведет ЭДС самоиндукции e_1 и ЭДС взаимоиндукции e_2. Обмотки трансформатора должны быть включены так, чтобы минус ЭДС e_2 был подан на базу. В результате напряжение на коллекторе сделается $u_к = -E_к + e_1$ (т. е. станет менее отрицательным), а напряжение на базе будет $u_б = -e_2$ (т. е. сделается более отрицательным). Последнее приводит к еще большему открытию эмиттерного пе-

рехода, что вызовет дальнейшее повышение $u_к$ и понижение $u_б$. Произойдет лавинообразный процесс роста коллекторного тока $i_к$. Этот процесс продолжается до перехода рабочей точки в область насыщения транзистора, когда дальнейшее изменение тока базы перестанет вызывать изменение тока коллектора. Напряжение на коллекторе возрастает на величину $U_м$ до $U_{к.мин}=-E_к+$ $+U_м$ (рис. 5.4*в*), а напряжение на базе упадет до величины $U_{б.м}=-nU_м$, где n — коэффициент трансформации.

Лавинообразный процесс, как известно, протекает очень быстро. Время же заряда конденсатора определяется постоянной времени цепи заряда. Конденсатор C заряжается по цепи: корпус, эмиттерный переход, базовая обмотка трансформатора, конденсатор C, корпус. Постоянная времени $\tau_{зар}=Cr_{э.б}$, где $r_{э.б}$ — прямое сопротивление насыщенного транзистора (сопротивлением вторичной обмотки трансформатора пренебрегаем). Поэтому по мере заряда конденсатора напряжение на базе $U_б=-e_2+u_c$ становится менее отрицательным. Однако коллекторный ток при этом уменьшается мало, так как транзистор находится в глубоком насыщении и $U_{к.мин}$ практически постоянно. Формируется относительно плоская вершина импульса. Наконец, напряжение на базе достигает значения $U_{б.нас}$, при котором транзистор выходит из насыщения, рабочая точка перемещается в активную область, коллекторный ток с повышением $u_б$ уменьшается, что вызывает уменьшение e_1 и e_2. В результате напряжение на коллекторе $u_к=-E_к+e_1$ делается более отрицательным, а $u_б=u_c-e_2$ — более положительным. Происходит обратный лавинообразный процесс запирания транзистора.

После обратного опрокидывания блокинг-генератора начинается медленный перезаряд конденсатора C через резистор $R_б$ и источник питания — $E_к$. Напряжение на конденсаторе C стремится снизиться от $+U_{с.макс}$ до $-E_к$ (пунктир на рис. 5.4*в*), но как только оно достигнет нулевого уровня, возникает новый лавинообразный процесс; начинает формироваться новый импульс.

При лавинообразном переходе транзистора в запертое состояние на коллекторе возникает всплеск напряжения $U_{к.макс}$ (рис. 5.4*в*), который, складываясь с напряжением источника питания, может превысить допустимое напряжение между коллектором и базой, и произойдет пробой транзистора. Для предохранения от пробоя параллельно одной из обмоток трансформатора включают диод *Д*, который во время всплеска отпирается и шунтирует трансформатор, а в остальное время заперт и не влияет на работу блокинг-генератора.

Следует отметить, что самовозбуждение блокинг-генератора возникает только при правильном включении выводов обмоток, как показано на рис. 5.4*а*. При неправильном включении какой-либо из обмоток обратная связь вместо положительной будет отрицательной и блокинг-генератор работать не будет.

Аналогично работает блокинг-генератор на лампе (рис. 5.4*б*). При включении питания и прогреве ламп появляется анодный

ток. Этот ток наводит в сеточной цепи ЭДС, плюс которой обращен к сетке, что увеличивает ток, а увеличивающийся ток увеличивает ЭДС и т. д. Происходят лавинообразный процесс отпирания лампы и генерация импульса. При генерации импульса сеточный конденсатор $C_с$ заряжается и запирает лампу. Затем $C_с$ медленно разряжается через большое $R_с$, пока напряжение на сетке не достигнет напряжения отпирания лампы $E_{с.о}$, и процесс повторяется.

Частота колебаний в блокинг-генераторе определяется в основном величинами $R_б$ (или $R_с$), $C_б$ (или $C_с$) и в некоторой степени параметрами и режимом работы транзистора (или лампы). Собственную частоту блокинг-генератора в случае необходимости регулируют, изменяя сопротивление резистора $R_б$ или $R_с$ в ламповом блокинг-генераторе, делая их переменными.

Мультивибраторы. Несимметричные мультивибраторы довольно часто применяют в ламповых телевизорах в качестве задающего генератора. Как видно из схемы рис. 5.5, кроме связи че-

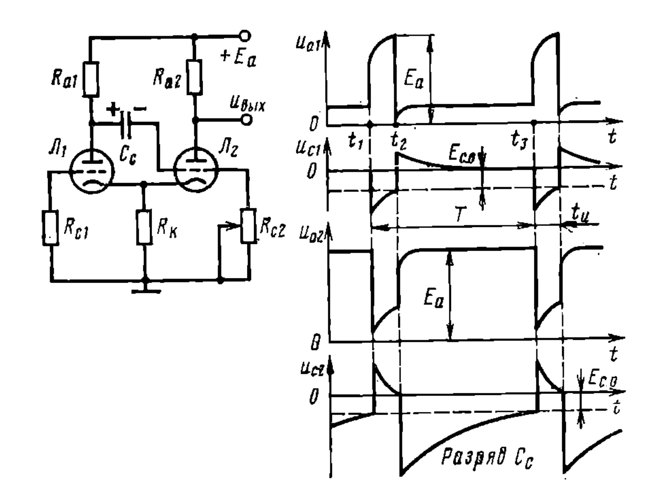


Рис. 5.5. Схема несимметричного мультивибратора с анодно-катодной связью и графики напряжений в нем

рез переходную цепочку $C_сR_{с2}$, имеется связь через общее катодное сопротивление $R_к$. Допустим, что в исходном состоянии лампа $Л_1$ открыта, а лампа $Л_2$ закрыта (на временных графиках это соответствует интервалу времени $0—t_1$). При этом конденсатор $C_с$ будет разряжаться по цепи: левая обкладка, анод-катод открытой лампы $Л_1$, сопротивление $R_к$, сопротивление $R_{с2}$, правая обкладка.

Разрядный ток создает на сопротивление $R_{с2}$ падение напряжения, минус которого подается на сетку лампы $Л_2$. Лампа $Л_2$ оказывается запертой. По мере разряда конденсатора $C_с$ отрицательное напряжение на сетке лампы $Л_2$ уменьшается и в момент t_1, когда падение напряжения на сопротивление $R_{с2}$ становится равным напряжению отпирания $E_{с.о}$, лампа $Л_2$ начинает открываться. Появившийся анодный ток лампы $Л_2$, протекая по сопротивлению $R_к$, создает отрицательное напряжение, которое начинает запирать лампу $Л_1$. При этом напряжение на аноде лампы

$Л_1$ повышается и начинается подзаряд конденсатора C_c по цепи: $+E_a$, сопротивление R_a, конденсатор C_c, сопротивление промежутка сетка — катод открытой лампы $Л_2$, сопротивление $R_к$, — E_a. Ток подзаряда конденсатора C_c создает на сопротивлении R_{c2} положительное падение напряжения, которое еще больше открывает лампу $Л_2$, и ее анодный ток еще больше возрастает. Ток подзаряда конденсатора C_c и анодный ток лампы $Л_2$, протекая по сопротивлению $R_к$, создают на сетке лампы отрицательное напряжение смещения, которое запирает лампу $Л_1$. Подзаряд конденсатора C_c протекает сравнительно быстро, так как сопротивления R_{a1} и $R_к$ малы и отрицательное напряжение на сетке лампы $Л_1$ быстро уменьшается. В момент t_2 это напряжение становится равным напряжению отпирания $E_{с.о}$ и лампа $Л_1$ открывается, а лампа $Л_2$ закрывается.

Вновь начинается разряд конденсатора C_c, который продолжается до момента t_3. Так как постоянная времени цепи разряда конденсатора C_c значительно больше, чем постоянная времени цепи заряда, пауза между импульсами значительно больше длительности импульса отрицательной полярности, снимаемого с анода лампы. Поэтому регулировка частоты мультивибратора производится обычно путем изменения сопротивления R_{c2}. Так же, как и в блокинг-генераторе, период колебаний мультивибратора T зависит от режима питания, так как при изменении E_a изменяется напряжение отпирания $E_{с.о}$.

Мультивибраторы обычно собирают на двойных триодах 6Н1П, 6Н2П, 6Н3П и др. Достоинство мультивибратора по сравнению с блокинг-генератором заключается в отсутствии трансформатора.

5.3. Формирование управляющего напряжения зарядно-разрядной цепью

Для формирования пилообразного или пилообразно-импульсного напряжения используется заряд емкости через активное сопротивление и разряд ее через транзистор или электронную лампу, которые играют роль ключей, периодически управляющих процессами заряда и разряда. Цепь, осуществляющую эти процессы, называют *зарядно-разрядной* или, короче, просто *разрядной*.

Линейность пилообразного напряжения, создаваемого разрядным каскадом, обычно получается недостаточно хорошей. Поэтому в развертывающих устройствах применяют различные методы линеаризации пилообразного напряжения. Один из простейших методов заключается в применении на выходе разрядного каскада двойной интегрирующей цепочки (рис. 5.6*б*). Первое интегрирующее звено — R_1C_1. На втором интегрирующем звене R_2C_2 образуется напряжение, кривизна которого противоположна кривизне пилообразного напряжения на конденсаторе C_1. Поэтому, передвигая движок резистора R_2, можно найти положение, в котором нелинейности на C_1 и на C_2 взаимно компенсируются.

При отсутствии входного сигнала в цепи (рис. 5.6*а*) транзистор *Т* заперт благодаря резистору $R_б$, обеспечивающему нулевое смещение на базе. Чтобы получить пилообразное напряжение, к базе подводятся положительные прямоугольные импульсы с частотой следования, равной частоте необходимого пилообразного

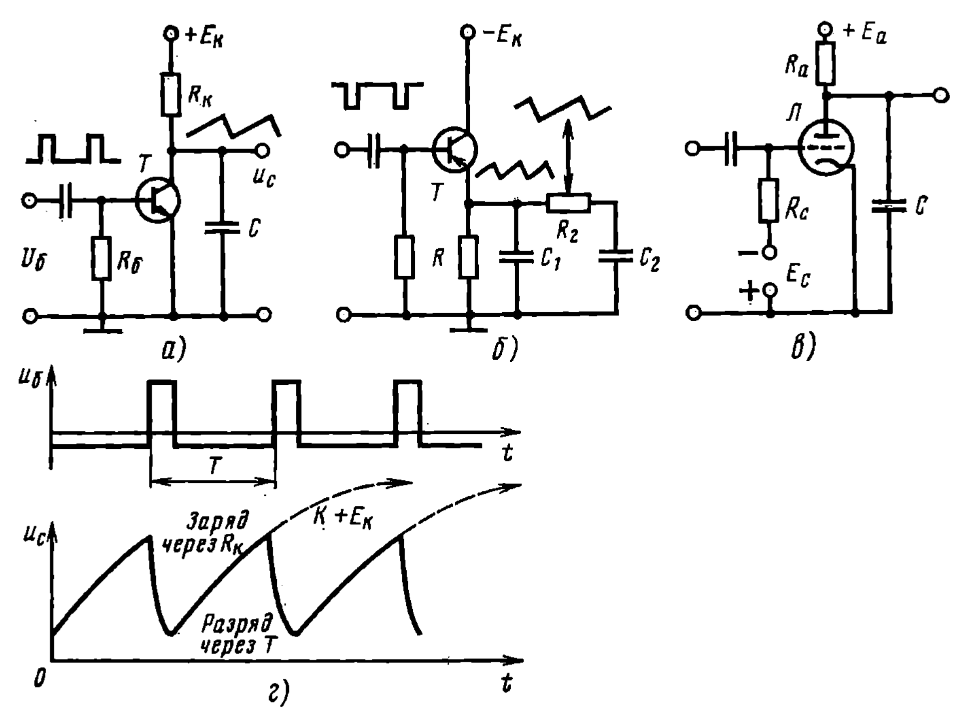


Рис. 5.6. Образование пилообразного напряжения. Схемы разрядного каскада: *а* — на транзисторе с проводимостью типа *n-p-n*; *б* — с проводимостью типа *p-n-p* с двухзвенной интегрирующей цепочкой для линеаризации пилообразного напряжения; *в* — на электронной лампе; *г* — диаграммы напряжений

напряжения, и длительностью, равной требуемому времени обратного хода. Мощность импульсов должна быть достаточной для перевода транзистора из режима отсечки коллекторного тока в режим насыщения.

При закрытом транзисторе емкость *С* (см. рис. 5.6*а*) заряжается через $R_к$ по закону $u_c = E_к(1 - e^{\frac{t}{R_к C}})$.

С приходом положительного импульса транзистор *Т* отпирается и емкость *С* через него разряжается.

В момент $t=0$ $u_c=0$ и ток заряда $i_0 = E_к/R_к$, но затем появляется и растет напряжение на конденсаторе $u_c = Q/C \approx it/C$, зарядный ток уменьшается и кривая напряжения u_c становится нелинейной.

Если надо получить «пилу» с незначительной нелинейностью, то следует взять небольшую часть экспоненты вблизи $t=0$ (или,

другими словами, взять небольшим коэффициент использования анодного напряжения $\beta = U_{с.макс}/E_к < 0,1$). Тогда можно считать, что $i_{зар} \approx i_0 = E_к/R_к = \text{const}$ и $u_с \approx E_к t/R_к C$, т. е. напряжение на конденсаторе растет приблизительно линейно со временем t.

Цепь формирования пилообразного напряжения обычно совмещают с задающим генератором (рис. 5.7).

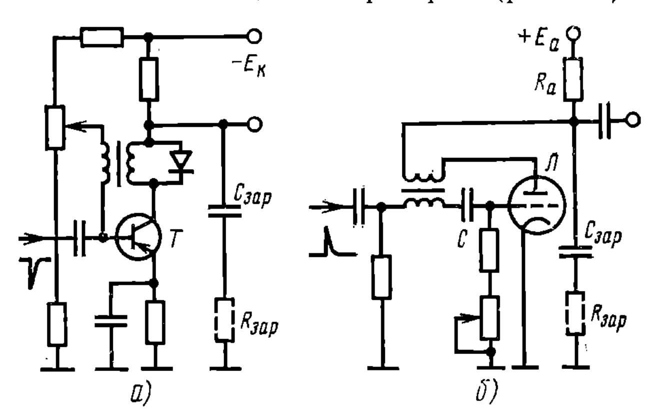


Рис. 5.7. Схемы блокинг-генератора на транзисторе и лампе с формированием пилообразного напряжения:
а — в цепи коллектора;
б — в цепи анода

Чтобы получить не пилообразное, а пилообразно-импульсное напряжение, необходимо последовательно с зарядной емкостью $C_{зар}$ включить еще зарядный резистор $R_{зар}$ (на рис. 5.7 показаны пунктиром). Если напряжение на зарядной емкости изменяется линейно, то заряжающий ее ток постоянен, а следовательно, и напряжение на включенном резисторе будет постоянно. В течение же всего периода оно будет иметь форму П-образных импульсов.

5.4. Генератор кадровой развертки на лампах

Каскад с дроссельным выходом. В телевизорах старых типов на лампах получила довольно широкое распространение дроссельная схема выходного каскада кадровой развертки (рис. 5.8*а*).

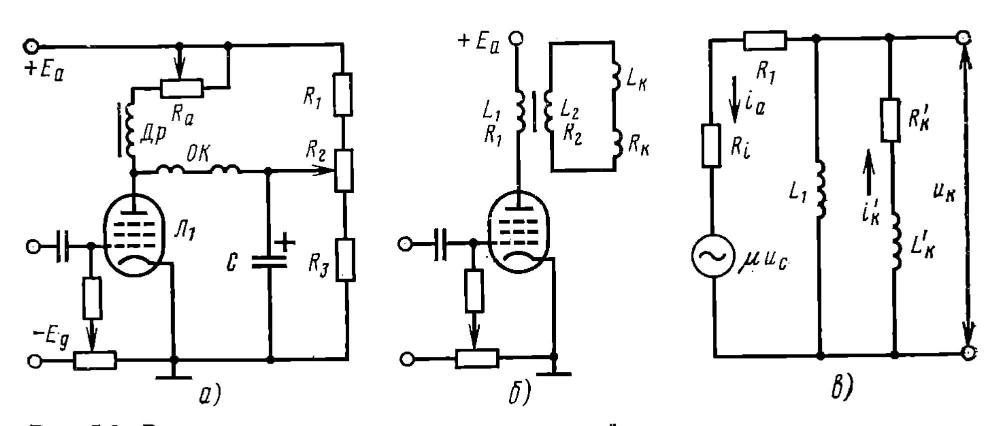


Рис. 5.8. Выходные каскады генератора кадровой развертки на лампе: *а* — с дросселем; *б* — с трансформатором; *в* — эквивалентная схема каскада с трансформатором

Выходной каскад, собранный по этой схеме, относительно прост по устройству и позволяет устранить из тока отклоняющих катушек постоянную составляющую анодного тока, которая при непосредственном включении отклоняющих катушек в анодную цепь каскада смещала бы растр на экране кинескопа. В дроссельной схеме, как видно из рисунка, отклоняющие катушки включались в диагональ моста, образованного выходной лампой, дросселем *Др* и резисторами $R_а$, R_1, R_2 и R_3. При балансе моста постоянная составляющая протекала через дроссель, не проходя через отклоняющие катушки. В случае необходимости, перемещая движок резистора R_2, можно было осуществить центровку растра.

Для повышения эффективности выходного каскада с дросселем было необходимо, чтобы $L_{др} \gg L_к$, а $R_{др}+R_а \gg R_к$. Но в то же время для согласования анодной нагрузки лампы с ее внутренним сопротивлением полное сопротивление отклоняющих катушек должно было быть также велико. Поэтому как дроссель, так и отклоняющие катушки приходилось делать с возможно большим числом витков (10—16 тысяч витков на пару отклоняющих катушек), достаточно тонкого провода, что снижало их надежность в эксплуатации.

Для нормальной работы выходного каскада необходимо, чтобы ток в отклоняющих катушках $i_к$ менялся линейно во времени. Управлять же, воздействуя сигналом на сетке, можно не током катушек, а током анода $i_а = i_к + i_{др}$. Можно доказать, что при линейном изменении анодного тока линейное изменение тока в отклоняющих катушках будет только при условии равенства постоянной времени цепи дросселя и цепи отклоняющих катушек, т. е. при $L_{др}/(R_{др}+R_а) = L_к/R_к$. Выровнять эти постоянные времени можно регулировкой резистора $R_а$.

Каскад с трансформаторным выходом долгое время не получал применения, так как при приемлемых размерах изображения он давал недопустимые искажения линейности. Он стал применяться и получил широкое распространение позднее, когда были найдены способы устранения этих искажений.

В выходных каскадах кадровой развертки современных ламповых телевизоров, как правило, применяются выходные трансформаторы (рис. 5.8*б*). При этом число витков отклоняющей катушки можно брать меньше. Значительно упрощается конструкция отклоняющих катушек: легче создать более эффективную конструкцию с ферритовым магнитопроводом специальной формы; проще осуществить согласование отклоняющих катушек с выходной лампой. Надежность маловитковых катушек, наматываемых из толстой проволоки, резко возрастает. Сравнивая работу отклоняющих катушек в этих каскадах (см. рис. 5.8), можно заключить, что трансформатор по сложности конструкции примерно равноценен дросселю, катушки же во всех отношениях получаются лучше.

Пересчитав $L_к$ и $R_к$ в первичную цепь трансформатора, т. е. приняв $L'_к = n^2 L_к$ и $R'_к = n^2 R_к$, получим упрощенную эквивалентную схему выходного каскада, приведенную на рис. 5.8в (сопротивлением потерь, индуктивностью рассеяния и паразитными емкостями пренебрегаем).

При трансформаторном включении отклоняющих катушек и идеально линейном анодном (коллекторном) токе, изменяющемся по закону $i_а = I_{ам}(2t/T_{пр} - 1)$, ток в отклоняющих катушках сильно искажается.

Устранить эти искажения, уравнивая постоянные времени цепей, невозможно, так как для этого необходимо сделать $R'_к = 0$ (в левой ветви $R = 0$).

Уменьшить искажения тока, вносимые левой ветвью эквивалентной схемы (рис. 5.8а), казалось бы можно, увеличив индуктивное сопротивление ωL_1. Но расчеты показали, что приемлемая нелинейность тока в отклоняющих катушках (например, 8%; см. табл. 5.1) получается при индуктивности первичной обмотки выходного трансформатора примерно 3000 Г, тогда как практически эта индуктивность колеблется в пределах от 10 до 20 Г.

Другой путь получения линейно изменяющегося тока в отклоняющих катушках заключается в нахождении такой формы кривых анодного (коллекторного) тока и управляющего напряжения на сетке выходной лампы, при которой ток в отклоняющих катушках был бы линейным.

Попытаемся найти такую форму кривой напряжения. Выше (см. рис. 5.2) установили, что при протекании по катушке пилообразного тока $i_к$ напряжение на ней $U_к$ (рис. 5.9) должно иметь пилообразно-импульсную форму. Такой же формы напряжение будет на индуктивности L_1, присоединенной параллельно отклоняющим катушкам. Напряжение на аноде выходной лампы будет $u_а = E_а - u_к$. Далее известно, что ток, протекающий по индуктивности, меняется по закону интеграла от приложенного напряжения, т. е. $i_{L_1} = \frac{1}{L_1}\int u_к dt$.

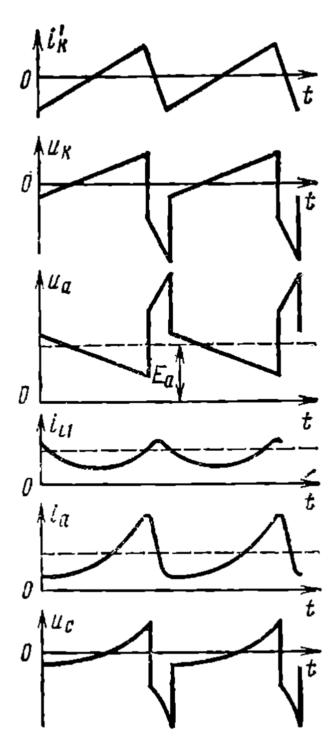
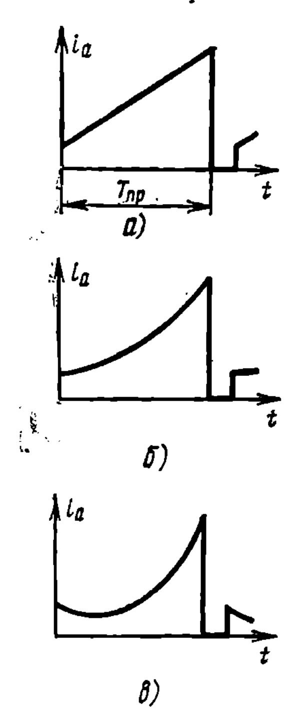


Рис. 5.9. Кривые напряжений и токов для эквивалентной схемы, приведенной на рис. 5.8в:
$i'_к$ — пилообразный ток; $u_к$ — пилообразно-импульсное напряжение на OK; $u_а$ — напряжение на аноде выходной лампы; i_{L1} — ток в индуктивности (так как напряжение меняется линейно, то ток i_{L1} должен меняться по закону квадратичной параболы); $i_а$ — суммарный анодный ток; $u_с$ — напряжение на сетке лампы

Так как напряжение на L_1 во время прямого хода меняется линейно, то ток i_L должен меняться по закону квадратичной параболы.

Суммарный анодный ток i_a состоит из двух слагаемых: тока отклоняющих катушек $i'_к$ меняющегося по линейному закону, и тока i_{L1} через индуктивность первичной обмотки трансформатора, меняющегося по параболическому закону. Такой формы анодный ток может быть получен только в том случае, если на управляющую сетку выходной лампы будет подаваться напряжение, содержащее во время прямого хода параболическую составляющую, т. е. пилообразно-импульсно-параболическое напряжение u_c.



Как уже говорилось ранее, нелинейность анодного тока лампы зависит от индуктивности L_1 первичной обмотки трансформатора (рис. 5.10). Практически в современных ламповых телевизорах форма анодного тока соответствует последнему из трех приведенных случаев.

Пилообразно-импульсно-параболическое напряжение на сетке лампы выходного каскада может быть получено как от формирующих каскадов, так и путем искажений имеющегося на аноде пилообразно-импульсного напряжения. Второй способ оказался по ряду причин более удобным. Широкое распространение получила схема выходного каскада с обратной связью между анодной и сеточной цепями через дифференцирующую цепочку.

Рис. 5.10. Зависимости формы кривой анодного тока выходной лампы от времени при различной индуктивности первичной обмотки трансформатора:
а — $L_1=\infty$; *б* — $L_1=0,5R'_к T_{пр}$; *в* — $L_1<0,5R'_к T_{пр}$

Дифференцирующая цепочка (рис. 5.11*а*) в зависимости от соотношения постоянной времени RC и длительности импульса τ искажает его, как показано на рис. 5.11*б*.

Если на дифференцирующую цепочку с постоянной времени RC, равной периоду кадровой развертки, подать пилообразно-импульсное напряжение с анода выходной лампы кадровой развертки U_a, то оно исказится, как показано (рис. 5.11*в*). Эту кривую с выхода дифференцирующей цепочки подают на сетку выходной лампы. В результате на управляющую сетку выходной лампы попадут два напряжения: пилообразно-импульсное от задающего генератора и пилообразно-импульсно-параболическое обратной связи через дифференцирующую цепочку, которые, складываясь, дадут нужное управляющее напряжение, обеспечивающее линейный ток в отклоняющих катушках.

Практическая схема генератора кадровой развертки. В качестве примера рассмотрим схему генератора кадровой развертки телевизора УНТ-47/59 (рис. 5.12). Задающий блокинг-генератор собран на триодной части лампы 6Ф5П. Частота генератора оп-

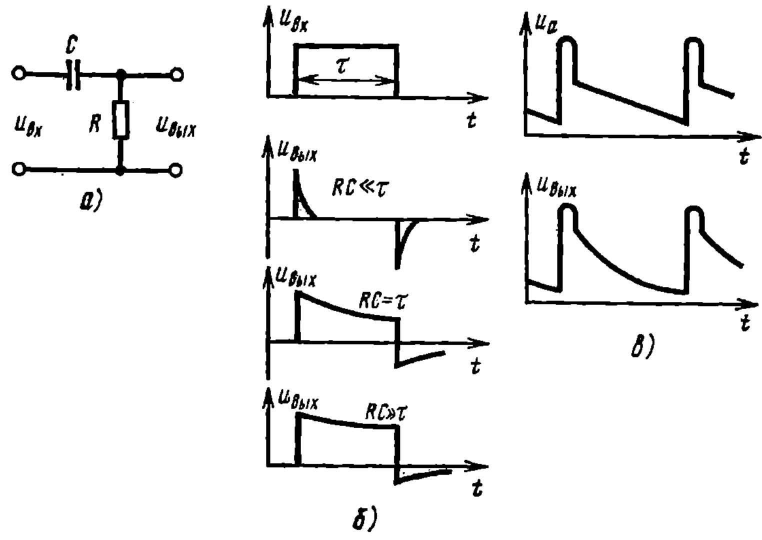


Рис. 5.11. Влияние дифференцирующей цепочки на формы прямоугольного импульса и пилообразно-импульсного напряжения:

а — схема цепочки; *б* — форма входного импульса и его изменение в зависимости от соотношения RC и длительности τ; *в* — изменение пилообразного импульсного напряжения на вход и выход цепочки

ределяется параметрами цепочки R_1, R_2 и C_2. Пилообразное напряжение формируется с помощью зарядной цепи R_4 и C_5. Для повышения линейности зарядная цепочка питается повышенным на-

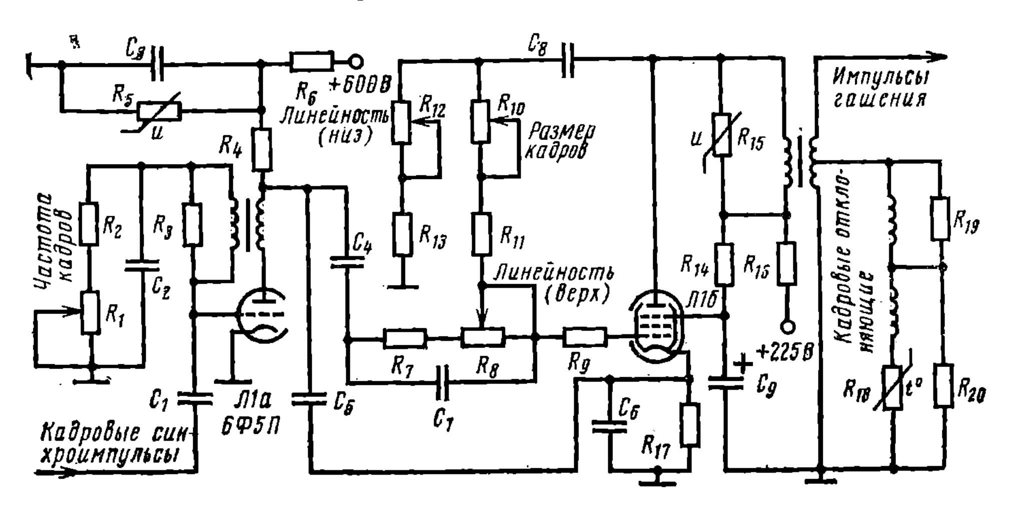


Рис. 5.12. Схема генератора кадровой развертки телевизора УНТ-47/59

пряжением (+400 В — часть напряжения «вольтодобавки»). Варистор R_5 вместе с резистором R_6 образует нелинейный делитель, который обеспечивает стабилизацию напряжения, питающего зарядную цепь. При повышении питающего напряжения сопротивление варистора и коэффициент деления уменьшаются. При понижении питающего напряжения сопротивление варистора и коэффициент деления возрастают.

Пилообразное напряжение через разделительный конденсатор C_4 и частотнозависимую цепочку R_7, R_8 и C_7 поступает на сетку выходной лампы (пентодная часть 6Ф5П). Сопротивление R_9 антипаразитное. Для формирования параболической составляющей служит цепь отрицательной обратной связи в составе дифференцирующей цепочки C_8, R_{12} и R_{13} и резисторов R_{10}, R_{11}, R_9. Подключение нижней обкладки зарядного конденсатора C_5 к катоду выходной лампы создает отрицательную обратную связь, которая стабилизирует работу генератора.

Варистор R_{15} защищает анодную обмотку выходного трансформатора ТВК от пробоя во время обратных кадровых ходов.

Терморезистор R_{18} включен последовательно с кадровыми катушками и вмонтирован в отклоняющую систему ОС-110А — он помещен между кадровыми отклоняющими катушками и ферритовым кольцом. Обладая отрицательным температурным коэффициентом, этот терморезистор компенсирует увеличение сопротивления отклоняющих катушек при прогреве.

Резисторы R_{19} и R_{20}, шунтирующие отклоняющие катушки, служат для подавления паразитных колебаний, возникающих во время обратных кадровых ходов.

5.5. Генератор кадровой развертки на транзисторах

Особенности генераторов кадровой развертки на транзисторах. Схемы кадровой развертки на транзисторах в известной мере аналогичны схемам на лампах. Однако особенности транзисторов накладывают соответствующий отпечаток на построение и работу каскадов кадровой развертки.

Питание транзисторов, как правило, осуществляется от источников значительно меньшего напряжения, чем питание ламп. Входные и выходные сопротивления транзисторов значительно ниже, чем у ламп. Транзисторы обладают существенно меньшим коэффициентом усиления по мощности.

Эти особенности приводят к тому, что в транзисторных развертках отклоняющие катушки могут включаться в коллекторную цепь выходного каскада без понижающего трансформатора (по дроссельной схеме) или с трансформатором, коэффициент трансформации которого близок к 1 (рис. 5.13).

Как и в ламповых схемах, генератор кадровой развертки на транзисторах может быть двухкаскадным: задающий генератор с формирующей цепью и выходной каскад. Но при этом транзисторы должны обладать весьма высокими усилительными свойст-

вами. Обычно же пилообразного напряжения, создаваемого задающим генератором, недостаточно для нормальной работы выходного каскада. В зависимости от размеров изображения, угла отклонения луча и требований к качественным характеристикам

Рис. 5.13. Схемы выходных каскадов кадровой развертки на транзисторах: *а* — с дроссельным включением *ОК*; *б* — с трансформаторным

развертки между задающим генератором с разрядной цепью и выходным каскадом помещают один-два каскада усиления. Кроме дополнительного усиления в этих каскадах управляющим импульсам напряжения придается такая форма, которая необходима для получения в отклоняющих катушках линейного пилообразного тока.

Предварительный усилитель может включаться по схеме эмиттерного повторителя или по схеме с общим эмиттером. В двухкаскадном усилителе предоконечный каскад обычно собирают по схеме эмиттерного повторителя, а предшествующий ему — по схеме с общим эмиттером. Из-за большого входного сопротивления эмиттерного повторителя эквивалентное сопротивление нагрузки предшествующего каскада получается довольно высоким, благодаря чему коэффициент усиления по напряжению и, следовательно, по мощности получается бо́льшим, чем в схеме с однокаскадным предварительным усилителем. Обратные связи при этом действуют значительно эффективнее, обеспечивая требуемые параметры развертки.

Практическая схема генератора кадровой развертки на транзисторах. Рассмотрим в качестве примера схему транзисторного генератора кадровой развертки телевизора II класса (рис. 5.14).

Задающий генератор собран по схеме блокинг-генератора с коллекторно-базовой связью. Блокинг-трансформатор имеет дополнительную третью обмотку для подачи кадровых синхроимпульсов. Частота колебаний блокинг-генератора определяется параметрами цепочки C_1, R_4 и R_5.

Для защиты от перенапряжений базовая обмотка трансформатора зашунтирована диодом $Д_1$. Для формирования управляющего пилообразно-импульсного напряжения служит зарядная цепочка из резисторов R_2, R_3, R_6 и конденсатора C_3. Конденсатор C_2 является разделительным. Чтобы повысить линейность пилообразного напряжения на эмиттер транзистора T_1, надо подать от отдельного выпрямителя повышенное напряжение +100 В. Но так

как на «корпус» подано 15 В, то напряжение питания коллекторной цепи составляет 85 В.

Для коррекции линейности изображения по вертикали между выходом блокинг-генератора и входом двухкаскадного усилителя

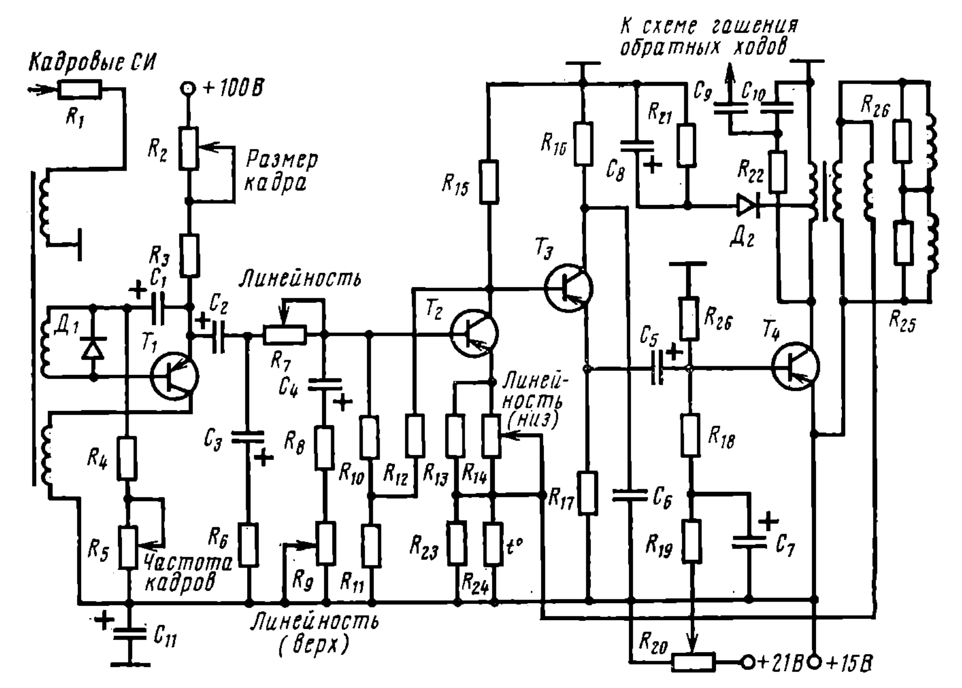


Рис. 5.14. Схема генератора кадровой развертки на транзисторах

на транзисторах T_2 и T_3 включена корректирующая цепь R_7, C_4, R_8 и R_9. Первый каскад этого усилителя собран по схеме с общим эмиттером, а второй — по схеме эмиттерного повторителя (с общим коллектором — коллектор транзистора T_3 по переменной составляющей заземлен через конденсатор C_6 большой емкости). Связь между каскадами усилителя на транзисторах T_2 и T_3 гальваническая — без разделительного конденсатора. Режим подобран так, что отрицательный потенциал эмиттера транзистора T_3 ниже отрицательного потенциала коллектора транзистора T_2.

Для повышения стабильности работы первый каскад усилителя на транзисторе T_2 охвачен отрицательной обратной связью через резисторы R_{12}, R_{10} и R_{11}.

Усиленное управляющее напряжение с эмиттерной нагрузки транзистора T_3 через переходную цепочку C_5, R_{18}, R_{19}, R_{20} поступает на базу выходного транзистора T_4. Режим выходного каскада определяется фиксированным напряжением смещения, снимаемым с делителя R_{26}, R_{18}, R_{19} и R_{20}.

Для регулировки фиксированного смещения на базе транзистора T_4, при смене транзисторов, служит проволочный потенцио-

метр R_{20}. Элементы R_{19} и C_7 играют роль фильтра для сглаживания пульсаций напряжения источника питания.

Кадровые отклоняющие катушки включены в коллекторную цепь выходного транзистора T_4 через согласующий трансформатор. Цепь $R_{22}C_{10}$, шунтирующая первичную обмотку выходного трансформатора, служит для подавления паразитных колебаний, возникающих во время обратного хода кадровой развертки и вызывающих искажения верхнего края изображения.

Демпфирующая цепочка, состоящая из элементов $Д_2$, C_8R_{21}, ограничивает амплитуду импульсов обратного хода.

Для стабилизации работы генератора кадровой развертки все три каскада усиления охвачены отрицательной обратной связью по току — напряжение ООС, снимаемое со специальной обмотки выходного трансформатора, подается в цепь эмиттера транзистора T_2 (первый каскад предварительного усилителя). Обмотка обратной связи имеет одинаковое число витков с основной вторичной обмоткой выходного трансформатора. Начала этих обмоток соединены вместе.

Так как основная обмотка нагружена отклоняющими катушками и по ней протекает значительный ток, то между концами обеих обмоток появляется разность потенциалов, пропорциональная току, потребляемому нагрузкой. Эта разность потенциалов, являющаяся напряжением отрицательной обратной связи, оказывается приложенной к нижнему плечу делителя в эмиттерной цепи транзистора T_2.

Термистор R_{24} служит для поддержания постоянства сопротивления цепи отрицательной обратной связи. Напряжение ООС зависит от сопротивления кадровых отклоняющих катушек, которое изменяется при их нагревании.

5.6. Выходной каскад генератора строчной развертки на лампах

Особенности выходного каскада и его назначение. Как известно (см. § 5.1), частота генераторов строчной развертки весьма велика. Спектр частот у строчных генераторов занимает полосу, превышающую 300 кГц. Резкое изменение тока во время обратного хода вызывает ударное возбуждение паразитных колебаний в контуре, образованном индуктивностью отклоняющих катушек и паразитными междувитковыми емкостями. Для снижения междувитковых емкостей и повышения частоты паразитных колебаний строчные отклоняющие катушки делают сравнительно маловитковыми (2×170—2×375 витков) и включают их в анодную цепь выходной лампы через согласующий понижающий трансформатор (практически чаще автотрансформатор, называемый «трансформатор выходной строчной ТВС»).

Для уменьшения потерь выходные согласующие автотрансформаторы строчной развертки выполняют на каркасах из материалов с низкими диэлектрическими потерями, а сердечники изготов-

ляют из магнитного материала с большим внутренним сопротивлением (ферриты).

Лампа выходного каскада строчной развертки должна обеспечивать получение необходимого размаха тока в отклоняющих катушках. Триоды, как правило, здесь не применяются, так как они имеют бóльшую проницаемость, чем тетроды и пентоды, и требуют для полного запирания во время обратного хода больших напряжений на сетке.

Во время прямого хода строчной развертки на аноде лампы действует небольшое напряжение и ток экранирующей сетки возрастает. Следовательно, лампа должна иметь достаточную мощность рассеяния по экранирующей сетке. Во время обратного хода на аноде лампы возникают значительные всплески напряжения, которые лампа должна выдерживать. Поэтому в качестве выходных ламп строчной развертки применяются специально разработанные лучевые тетроды 6П7С и 6П13 в телевизорах с кинескопами с углом отклонения 70° и 6П31С, 6П36С и 6П44С в телевизорах с кинескопами с углом отклонения 110°.

Идеализированная схема выходного каскада с двусторонним ключом. Прежде чем приступить к рассмотрению работы реальных схем выходных каскадов строчной развертки, разберем работу входного каскада, собранного по простейшей идеализированной схеме, по так называемой схеме с двусторонним ключом (рис. 5.15). Здесь $L_{о.к}$ — индуктивность отклоняющих катушек, $C_п$ — паразитная междувитковая емкость, определяющие длительность обратного хода, R — эквивалентное сопротивление потерь, E — напряжение источника питания, K — ключ с двусторонней проводимостью.

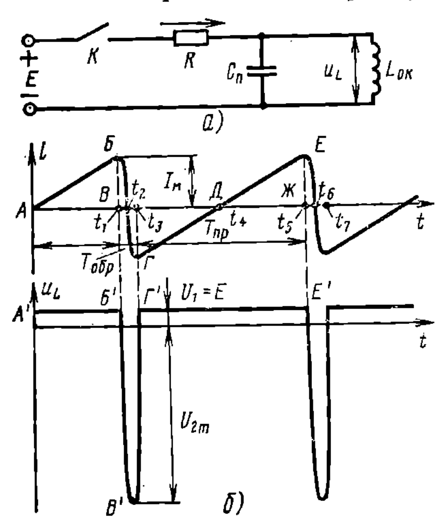


Рис. 5.15. Идеализированная схема выходного каскада строчной развертки и формы тока и напряжения на *ОК*

Как уже говорилось выше, в генераторах строчной развертки нельзя не считаться с паразитными междувитковыми емкостями. Эти емкости с индуктивностью $L_{о.к}$ отклоняющих катушек образуют колебательный контур, который определяет всю работу строчной развертки.

Примем для простоты, что $R=0$. В этом случае при замыкании ключа K к индуктивности $L_{о.к}$ и емкости $C_п$ будет приложено постоянное напряжение E. Процессом заряда конденсатора $C_п$ можно пренебречь, так как он зарядится практически мгновенно. Ток же в катушках будет нарастать линейно (рис. 5.15*б*, участок *АБ*).

В момент времени t_1 ключ K размыкается и ток i, достигший значений $+I_м$, совершает полупериод собственных колебаний (полупериод косинусоиды $БВГ$). Ток достигает значения $-I_м$. Происходит обратный ход, длительность которого $T_{о.х}=0{,}5T=\pi\sqrt{L_{о.к}C_п}$, где T — период собственных колебаний контура. Соответственно напряжение на индуктивности в интервале t_1—t_3 изменяется по синусоидальному закону (рис. 5.15*б*, участок $БВГ$). В конце обратного хода (в момент t_3) ключ снова замыкается, источник питания шунтирует контур и срывает в нем возникшие колебания.

Если время прямого хода развертки (время замкнутого состояния ключа) $T_{пр}$ значительно меньше постоянной времени τ, т. е. $T_{пр}\ll\tau=L_{о.к}/R$, то нарастание тока будет практически линейным, ЭДС самоиндукции постоянной.

В течение времени от нуля до t_1 растет ток и в магнитном поле катушек накапливается энергия. При размыкании ключа (в момент t_1) в контуре возникают свободные колебания; ток падает до нуля, энергия электромагнитного поля переходит в энергию электростатического поля емкости $C_п$ (момент t_2), и затем снова энергия электрического поля емкости переходит в энергию магнитного поля катушек, но направление тока в катушках, а следовательно, и знак ЭДС самоиндукции будут обратными.

В момент t_2 напряжение на контуре u_L максимально (амплитуда синусоиды) и значительно превышает напряжение источника питания E. В момент t_3 ключ снова замыкается и начинается новый прямой ход развертки. До момента t_4 происходит переход энергии, запасенной в магнитном поле катушек, обратно в источник питания. С момента времени t_4 до момента t_5 катушки снова накапливают энергию, получаемую от источника питания E.

В идеальном случае (при отсутствии потерь и $R=0$) энергия, возвращаемая катушками источнику, равна энергии получаемой; площади фигур, образованных положительными и отрицательными значениями тока, равны и постоянная составляющая тока через отклоняющие катушки равна нулю. Очевидно, что в реальном случае (при наличии потерь) энергия, возвращаемая катушками, будет меньше потребляемой, симметрия графика тока относительно оси времени нарушится и в цепи отклоняющих катушек появится постоянная составляющая тока.

Выходной каскад с демпферным диодом. На рис. 5.16 изображены упрощенные принципиальная и эквивалентная схемы выходного каскада генератора строчной развертки. Из-за наличия паразитных емкостей, образующих совместно с эквивалентной индуктивностью колебательный контур, в котором возникают ударные колебания, эти схемы оказываются непригодными к использованию. На пилообразный ток, образующийся в анодной цепи под воздействием управляющего сеточного напряжения, после быстрого запирания выходной лампы накладываются затухающие колебания. Эти колебания можно заглушить или, как часто говорят,

задемпфировать[1], зашунтировав контур активным сопротивлением $R_д \leqslant 0{,}5\sqrt{L_э/C_п}$ (как известно, при этом колебательный контур превращается в апериодический), специально подобранной цепочкой $C_д R_д$ (рис. 5.16*а*) или демпфирующим диодом.

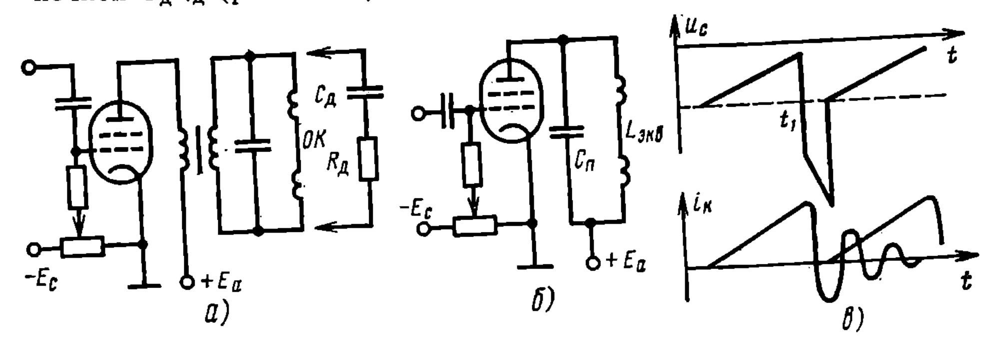


Рис. 5.16. Выходной каскад строчной развертки:
а — простейшая схема; *б* — эквивалентная схема; *в* — эпюры тока и напряжений в *ОК*

Первый способ характеризовался значительным ответвлением из отклоняющих катушек в демпфирующее сопротивление пилообразного тока и бесполезным нагревом этого резистора. Этот способ был неэффективным и применения не получил.

При втором способе параметры цепочки $R_д C_д$ подбирались такими, чтобы для частоты строк (15 625 Гц) сопротивление $C_д$ было значительным и в дифференцирующую цепочку ответвлялся небольшой ток. Для частоты паразитных колебаний $f_{соб} > 100$ кГц сопротивление $C_д$ было мало и колебания гасились. Этот способ получил применение в старых телевизорах с небольшими кинескопами и малыми углами отклонения луча. Но эффективность его была недостаточна, и в современных телевизорах он также применения не нашел.

Наиболее совершенными оказались выходные каскады строчной развертки, собранные по схеме с демпфирующим диодом (рис. 5.17*а*). Смещение на сетке выходной лампы $Л_1$ ($-E_c$) задается таким, что отпирание ее под воздействием пилообразно-импульсного напряжения происходит в момент t_1, несколько раньше середины периода.

Ток через отклоняющие катушки $i_к$, вследствие нелинейности анодно-сеточной характеристики лампы, растет сначала медленно. Затем рост тока ускоряется, и он становится линейным. Напряжение на отклоняющих катушках $u_к = L\,di/dt$ при линейном токе постоянно.

В момент t_2, когда анодный ток и ток в катушках достигает своего максимума, лампа запирается отрицательным импульсом, поступающим на ее сетку в составе пилообразно-импульсного напряжения. Но ток в катушках мгновенно прекратиться не может.

[1] От слова «демпфер» (нем.) — глушитель.

Благодаря накопленной в катушках электромагнитной энергии в колебательном контуре, образованном эквивалентной индуктивностью и паразитной емкостью каскада, возникает ударное возбуждение колебаний. Ток в катушках убывает и в момент t_3 становится равным нулю. Вся энергия магнитного поля переходит в

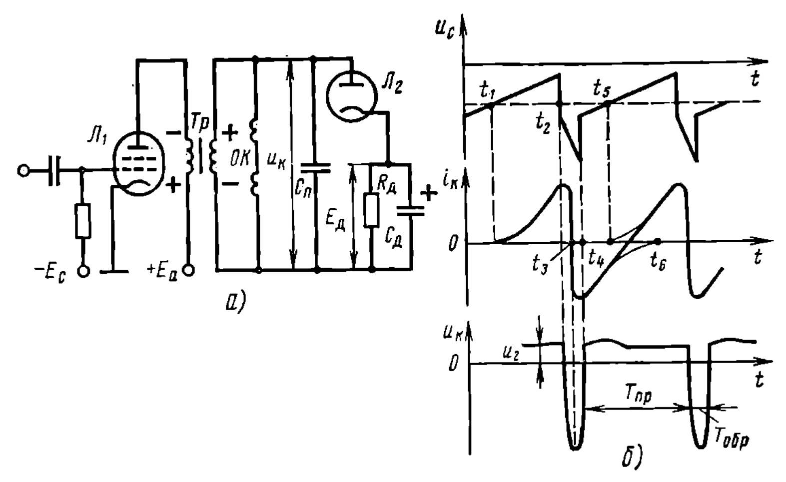


Рис. 5.17. Выходной каскад строчной развертки с демпферным диодом: *а* — схема; *б* — эпюры напряжений и токов в основных точках схемы

энергию электрического поля паразитной емкости цепи $C_п$. Напряжение на емкости $C_п$ достигает максимума, и диод при этом надежно запирается. Затем емкость контура начинает разряжаться через катушки. В катушках появляется и растет ток обратного направления.

В момент t_4 ток достигает максимального отрицательного значения. Вся энергия опять сосредотачивается в магнитном поле катушек, а напряжение на катушках, достигнув нуля, становится вновь положительным. Но как только оно превысит значение $E_д$, диод отпирается и глушит колебания. Благодаря накопленной к концу прямого хода энергии через диод протекает ток, подзаряжающий демпфирующий конденсатор $C_д$ до $E_д = U_2$. В момент t_6 ток через диод прекращается. Таким образом, энергия, накопленная в индуктивности отклоняющих катушек при работе выходной лампы, передается емкости $C_д$, а затем рассеивается на сопротивлении $R_д$. В момент t_5 вновь отпирается выходная лампа и через катушки протекает ток. Далее процесс повторяется. В период t_6—t_5 ток через катушки складывается из тока диода и тока выходной лампы. Эти токи текут в разных направлениях. Нелинейности осциллограмм этих токов взаимно компенсируются, и осциллограмма суммарного тока подбором смещения выходной лампы и момента ее отпирания может быть получена весьма линейной.

Таким образом, ток выходной лампы отклоняет луч во второй половине прямого хода (правая половина растра), ток колеба-

тельного контура, совершая полупериод собственных колебаний, осуществляет обратный ход, а ток диода отклоняет луч в первой половине прямого хода (т. е. в левой половине растра).

Положительный импульс напряжения, образующийся на аноде выходной лампы во время обратного хода, определяется выражением $U_{обр.макс}=0,5\pi E_а T_{пр}/T_{обр}$, т. е. чем меньше длительность обратного хода по сравнению с прямым ходом, тем больше импульс напряжения. Если, например, $T_{пр}/T_{обр}=10$, то $U_{обр.макс}=15,7\ E_а$.

Использование с помощью демпфирующего диода энергии, накопленной в отклоняющих катушках, теоретически позволяет почти в 2 раза уменьшить размах отклоняющего тока, даваемого выходной лампой, или почти в 4 раза снизить потребляемую мощность (характеризующуюся площадью, заштрихованной на рис. 5.18).

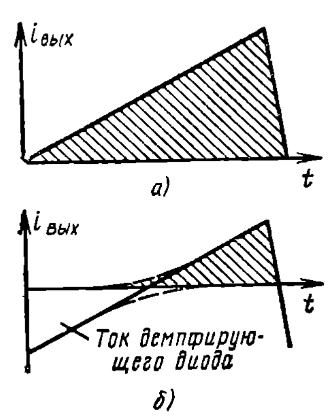


Рис. 5.18. Сравнение токов потребляемых выходной лампой каскада строчной развертки:
а — с демпфирующим резистором; *б* — с демпфирующим диодом

С увеличением размеров экранов и мощности разверток эффективность и этой схемы выходного каскада перестала удовлетворять. Поиски более эффективной схемы привели к созданию схемы с обратной связью по питанию.

Схема выходного каскада с обратной связью по питанию. В таком каскаде нагрузка демпфера $R_д C_д$ включена последовательно с источником питания $+E_а$ (рис. 5.19). Благодаря этому напряжение на аноде выходной лампы строчной развертки увеличивается на значение $E_д$, называемое напряжением «вольтодобавки», и размах отклоняющего тока при той же затрате энергии от источника питания становится значительно больше. Кроме того, повышение анодного напряжения приводит к улучшению линейности и к увеличению импульса напряжения во время обратного хода.

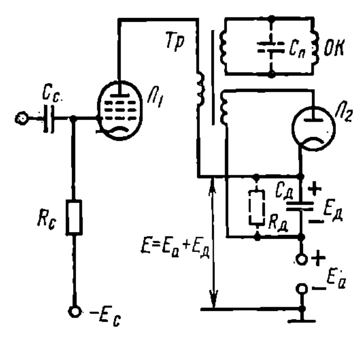


Рис. 5.19. Упрощенная схема выходного каскада с обратной связью по питанию

Напряжение вольтодобавки $E_д$ довольно большое, иногда превышает напряжение источника анодного питания $E_а$. Работа выходного каскада, собранного по этой схеме, подобна работе предыдущего каскада. Во время первой половины прямого хода работает только демпфирующий диод и заряжает конденсатор $C_д$. Выходная лампа при этом заперта. Во время второй половины прямого хода демпфирующий диод запирается, но отпирается выходная лампа, и конденсатор $C_д$ разряжается через нее.

В практических схемах режим демпфирующего диода подбирается таким, чтобы средние значения токов через диод и выход-

ную лампу были равны. При этом сопротивление $R_д$ нагрузки демпфера оказывается ненужным.

Практическая схема выходного каскада. Выходные каскады строчной развертки современных телевизоров на лампах выполняются по схеме с обратной связью по питанию. Схема (рис. 5.20) содержит три лампы: собственно выходную $Л_1$, демпфирующий диод $Л_2$ и высоковольтный кенотрон $Л_3$.

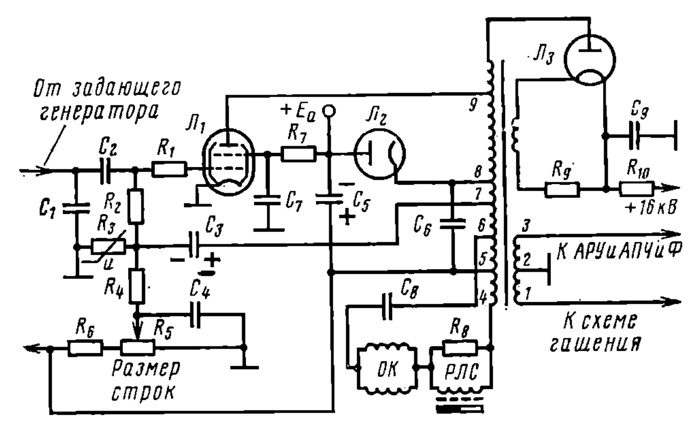


Рис. 5.20. Практическая схема выходного каскада генератора строчной развертки телевизора II класса УНТ-47/59

Пилообразное напряжение с конденсатора C_1 через разделительный конденсатор C_2 и антипаразитный резистор[1] R_1 поступает на управляющую сетку лампы $Л_1$.

Нагрузкой выходного каскада являются строчные отклоняющие катушки, связанные с лампой через понижающий автотрансформатор ТВС-110А. Применение последнего позволяет уменьшить индуктивности рассеяния и распределенные емкости выходного каскада и этим повысить частоту собственных колебаний. Катушки включены параллельно друг другу для уменьшения паразитного излучения и амплитуды импульсов напряжения на самих катушках во время обратного хода развертки.

В выходном каскаде применена схема стабилизации размера изображения при изменении питающего напряжения или при старении ламп, выполненная с использованием варистора R_3. Варистор, как известно, представляет собой нелинейное сопротивление, которое обратно пропорционально приложенному напряжению. Стабилизация осуществляется изменением напряжения смещения на управляющей сетке выходной лампы, которое вырабатывается вследствие нелинейности характеристики варистора. Для получения отрицательного смещения используются положительные импульсы обратного хода развертки, снимаемые с выво-

[1] Резистор, предохраняющий схему от возникновения возможных паразитных колебаний.

да 7 выходного автотрансформатора через конденсатор C_3. Во время действия положительного импульса обратного хода сопротивление варистора резко падает и конденсатор C_3 быстро заряжается. При отсутствии импульсов сопротивление варистора велико и конденсатор C_3 медленно разряжается в основном через R_4 и R_5, создавая на варисторе отрицательное напряжение, зависящее от амплитуды импульсов обратного хода. Регулируя постоянное положительное напряжение, подаваемое на варистор с конденсатора вольтодобавки C_5 и снимаемое с потенциометра R_5, можно установить необходимый размер изображения по строкам.

Конденсатор C_6 служит для настройки выходного трансформатора (может использоваться для регулировки амплитуды импульса обратного хода). Конденсатор C_8 предназначен для коррекции симметричных нелинейных искажений и придания импульсам отклоняющего тока в катушках во время прямого хода S-образной формы.

По целому ряду причин, в частности из-за наличия у отклоняющих катушек активного сопротивления, отклонение по строкам получается недостаточно линейным (правый край изображения несколько сжимается).

Коррекция нелинейности отклоняющего тока обычно осуществляется с помощью так называемого регулятора линейности строк (РЛС). Он представляет собой катушку индуктивности, намотанную на ферритовый сердечник, расположенный рядом с постоянным магнитом, и включенную в цепь отклоняющих катушек. Пилообразный ток, протекая по катушке регулятора линейности, создает вокруг нее магнитное поле, взаимодействующее с полем постоянного магнита. В первой половине прямого хода через катушку протекает ток демпфера, создающий магнитное поле, направленное против поля постоянного магнита. Разностное магнитное поле не насыщает сердечник, вследствие чего катушка имеет большую индуктивность, что приводит к уменьшению скорости изменения отклоняющего тока и сжатию левой части изображения.

Во второй половине прямого хода через катушку протекает ток лампы. Создаваемое им магнитное поле складывается с полем постоянного магнита, и суммарное поле насыщает ферритовый сердечник. Индуктивность катушки падает, и она практически перестает влиять на характер нарастания тока.

Изменяя положение постоянного магнита, можно в широких пределах регулировать линейность изображения.

Получение высокого напряжения питания кинескопа. Для нормальной работы кинескопа необходимо постоянное напряжение в пределах 6—25 кВ. Получать такое напряжение с помощью трансформатора, выпрямителя и сглаживающего фильтра из переменного напряжения сети сложно и невыгодно. Конденсаторы фильтров для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения из-за низкой частоты пульсаций (50—100 Гц) должны иметь очень большие емкости, габариты и массу.

Как уже отмечалось, во время обратных ходов строчной развертки на аноде выходной лампы и выходном трансформаторе возникают импульсы высокого напряжения. В реальных схемах амплитуда этих импульсов на аноде достигает 6—8 кВ. Частота повторения равна частоте строчной развертки, т. е. 15 625 Гц. Наличие этих импульсов существенно упрощает проблему получения высокого постоянного напряжения для питания второго анода кинескопа в телевизоре.

Поскольку размах этих импульсов все же мал для питания кинескопа, на выходном строчном автотрансформаторе помещается еще одна дополнительная повышающая обмотка с довольно большим числом витков, подсоединяемая к отводу *9* (см. рис. 5.20), импульсы с которой подаются на анод высоковольтного кенотрона $Л_3$. Питание накала высоковольтного кенотрона осуществляется от специальной обмотки, размещенной на том же автотрансформаторе и содержащей обычно всего лишь один виток.

Как видно из рис. 5.20, высоковольтный выпрямитель собран по схеме однополупериодного выпрямителя. Так как частота импульсов сравнительно высокая, то можно ограничиться весьма простым сглаживающим фильтром: конденсатором C_9 емкостью 300—500 пФ, резистором R_{10} и емкостью между вторым анодом кинескопа и внешним заземленным проводящим покрытием баллона.

К числу существенных достоинств рассматриваемого способа получения высокого напряжения для питания анода кинескопа следует отнести автоматическую защиту кинескопа от прожога: при выходе из строя каких-либо элементов строчной развертки пропадает и высокое напряжение на аноде кинескопа.

Настройка выходного каскада. Анодную цепь выходного каскада строчной развертки, изображенного на рис. 5.20, можно представить в виде эквивалентной схемы, приведенной на рис. 5.21*а*. Здесь L_1 — эквивалентная индуктивность первичной (анодной) цепи, состоящая из параллельного соединения индуктивности первичной обмотки ТВС и пересчитанной индуктивности отклоняющих катушек и катушки регулятора размера строк; L_2 — индуктивность высоковольтной обмотки ТВС; C_1 — паразитная

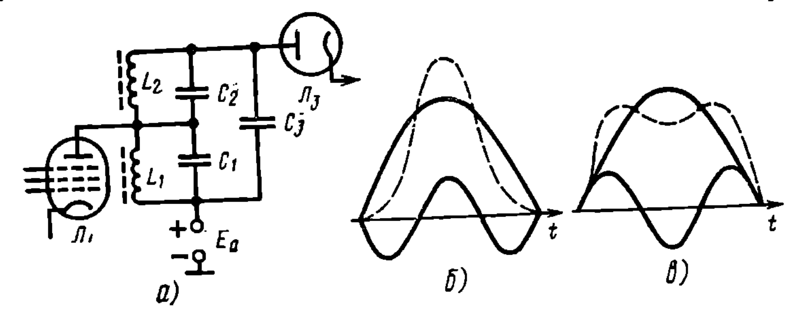


Рис. 5.21. Анодная цепь выходного каскада:
а — эквивалентная схема; *б*, *в* — эпюры напряжений при настройке на третью гармонику

междувитковая емкость L_1; C_2 — паразитная емкость высоковольтной обмотки; C_3 — входная емкость высоковольтного кенотрона.

В этой схеме имеются два связанных контура: L_1C_1 и $L_2C_1C_2$ и C_3. В цепи, содержащей два связанных контура, как известно, образуется резонанс на двух сильно разнящихся частотах: f_1 и f_2. Подбором параметров цепи можно добиться, чтобы $f_2=3f_1$. Во время обратных ходов в цепи возникают свободные колебания в первом контуре с частотой $f_1=70\div100$ кГ, а во втором с частотой $f_2=210\div300$ кГц (третья гармоника). При этом фазовые соотношения таковы, что во втором контуре, настроенном на частоту третьей гармоники, максимумы напряжения первой и третьей гармоник складываются, в результате чего суммарное напряжение на аноде кенотрона $Л_3$ повышается примерно на 20% (рис. 5.21*б*). В первом контуре максимумы напряжений получаются в противофазе и поэтому они вычитаются (рис. 5.21*в*). Амплитуда пика напряжения на аноде выходной лампы $Л_1$ понижается, уменьшая опасность пробоя во многих цепях каскада.

5.7. Выходной каскад генератора строчной развертки на транзисторах

Назначение выходного каскада. Кроме уже рассмотренных задач по созданию в отклоняющих катушках импульсов пилообразного тока, требуемого размаха и формы, и получению высокого напряжения для питания второго анода кинескопа, выходной каскад должен давать еще ряд других постоянных и импульсных напряжений, необходимых для работы телевизора (напряжение питания выходного каскада видеоусилителя, фокусирующего и ускоряющего электродов кинескопа, импульсы гашения обратного хода луча, импульсы, управляющие схемами АРУ (см. § 9.3), АПЧиФ (см. § 5.9) и др.).

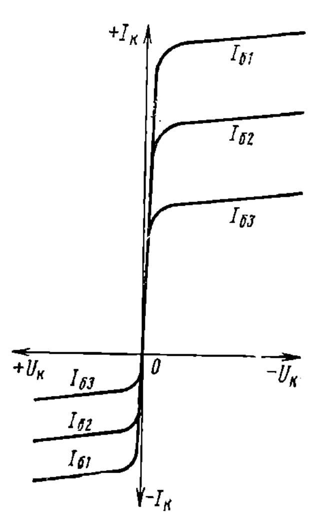


Рис. 5.22. Коллекторные характеристики транзистора

Схема выходного каскада. Транзистор, в отличие от лампы, как известно, обладает двусторонней проводимостью (рис. 5.22). Это позволяет использовать его в качестве двустороннего ключа, работа которого рассмотрена выше (см. § 5.5). Чтобы характеристика коллекторного тока транзистора была симметрична относительно нулевого значения, параллельно коллекторной цепи выходного транзистора включают полупроводниковый диод. Это его основное назначение.

Он же, по аналогии с ламповыми схемами, играет роль демпфера, подавляющего колебательный процесс в начале прямого хода развертки, и поэтому называется *демпфирующим*.

Разберем работу выходного каскада строчной развертки на транзисторе по упрощенной схеме, приведенной на рис. 5.23*а*, опустив ряд тонкостей и деталей процессов, происходящих в нем.

Как и в генераторах кадровой развертки, в генераторах строчной развертки на транзисторах между задающим генератором и выходным каскадом устанавливаются один-два каскада предоконечных усилителей мощности (на рис. 5.23), которые повышают до необходимого уровня мощность импульсов, создаваемых задающим генератором. Кроме того, первый каскад усилителя мощности выполняет также роль буферного каскада, устраняющего влияние выходного каскада на задающий генератор.

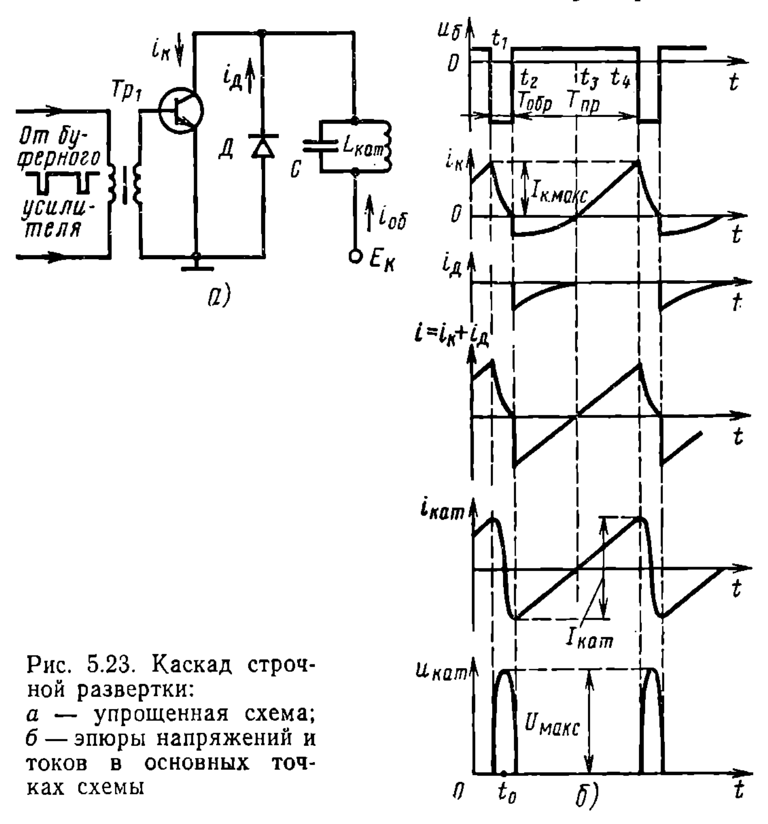


Рис. 5.23. Каскад строчной развертки:
а — упрощенная схема;
б — эпюры напряжений и токов в основных точках схемы

От строчного задающего генератора, через буферный усилитель и трансформатор $Тр_1$ на базу выходного транзистора подаются отрицательные (при использовании транзистора *n-p-n*) запирающие П-образные импульсы, длительность которых при упрощенном рассмотрении равна времени обратного хода $T_{обр}$.

Под воздействием этих импульсов транзистор будет периодически запираться, а в промежутках между ними он будет открыт. При этом сопротивление участка коллектор — эмиттер будет очень малым. Управляемый приходящими импульсами транзистор совместно с диодом будет выполнять функции ключа с двусторонней проводимостью.

Предположим, что до момента времени t_1 (рис. 5.23б) транзистор выходного каскада был открыт и к этому времени ток коллектора $i_к$ достиг значения $I_{к.макс}$. Диод $Д$ при этом заперт положительным напряжением на коллекторе, и поэтому весь ток, протекающий по отклоняющим катушкам, проходит через коллектор транзистора.

В момент t_1 транзистор быстро запирается. В колебательном контуре $L_{кат}C$ возникают свободные колебания с частотой $f_{соб}=1/2\pi\sqrt{L_{кат}C}$. За полупериод этих колебаний, пока заперт транзистор, ток в катушках успевает измениться от максимального положительного до максимального отрицательного значения, изменив в момент t_0 свое направление. За это же время напряжение на катушках, изменяясь, описывает полуволну синусоиды с амплитудой $U_{макс}$. Напряжение на катушках достигает амплитудного значения в момент перехода тока через нуль, когда вся энергия контура оказывается сосредоточенной в емкости C. Затем энергия электрического поля емкости C начинает переходить в энергию магнитного поля катушек. В катушках возникает ток противоположного направления.

В момент t_2 транзистор открывается, сопротивление коллекторной цепи резко падает, вследствие чего свободные колебания в контуре $L_{кат}C$ срываются. Ток катушек начинает уменьшаться по закону, близкому к линейному. В течение времени $t_3—t_2$ ток катушек протекает одновременно через транзистор и через демпферный диод $Д_д$, который оказывается открытым для тока этого направления. Вольт-амперная характеристика системы транзистор — диод становится более симметричной для положительного и отрицательного направления тока в отклоняющих катушках. Это способствует повышению линейности.

К моменту t_3 ток в катушках уменьшается до нуля, а затем, изменив направление, вновь увеличивается. Демпферный диод запирается для этого направления тока (плюс на катоде), а транзистор по-прежнему остается открытым.

К моменту t_4 ток коллектора опять достигает максимального значения $I_{к.макс}$. Далее процесс продолжается, как рассмотрено выше.

Требования к транзистору выходного каскада. К транзистору выходного каскада строчной развертки предъявляются весьма жесткие требования. Максимальное значение тока в конце прямого хода развертки должно быть меньше допустимого тока в режиме насыщения, а импульс напряжения на коллекторе во время обратного хода луча должен быть меньше допустимого напряжения на коллекторе. Подобные требования предъявляются и к демпфирующему диоду.

Обобщенным показателем, определяющим пригодность транзистора к работе в выходном каскаде, является разрывная мощность. Под этим выражением понимается произведение допустимого напряжения коллектора на максимальное значение коллек-

торного тока, измеряемое в вольт-амперах. Современные кинескопы требуют разрывную мощность в пределах от 100 до 3000 В·А.

Особенности выходного каскада. Согласование коллекторной цепи транзистора выходного каскада строчной развертки с нагрузкой — отклоняющими катушками может быть достигнуто без применения выходного трансформатора. Это объясняется сравнительно низким полным сопротивлением отклоняющих катушек, используемых в транзисторных выходных каскадах, а также тем, что такой каскад, в отличие от лампового, работает с малым напряжением на коллекторе, но со сравнительно большим коллекторным током. Прибегать к помощи трансформатора заставляет необходимость получения вспомогательных напряжений, как правило, превышающих напряжение источников питания.

Наличие неизбежных потерь в выходном каскаде строчной развертки приводит к появлению в отклоняющих катушках постоянной составляющей, вызывающей сдвиг растра по горизонтали. Нежелательность применения в этом случае центрирующих постоянных магнитов, компенсирующих этот сдвиг, также заставляет отдать предпочтение трансформаторной или дроссельной схемам перед схемой непосредственного включения отклоняющих катушек в коллекторную или эмиттерную цепь выходного каскада.

Нередко отклоняющие катушки включаются по комбинированной трансформаторно-дроссельной схеме, в которой дросселем служит первичная обмотка трансформатора, а последующие обмотки дают необходимые вспомогательные напряжения (рис. 5.24). При трансформаторной схеме путем подбора коэффициента трансформации можно использовать любые имеющиеся отклоняющие катушки. При дроссельной схеме отклоняющие катушки должны быть специально рассчитаны для работы в данном каскаде.

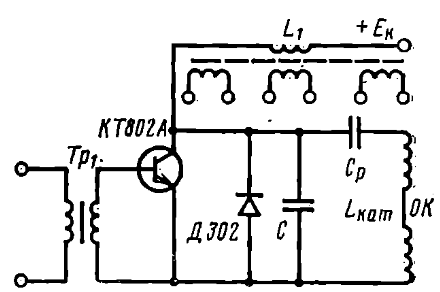


Рис. 5.24. Схема выходного каскада строчной развертки с трансформаторов

Разделительный конденсатор $C_р$, кроме устранения постоянной составляющей, придает отклоняющему току S-образную форму и компенсирует симметричные нелинейные искажения (см. гл. 3).

Индуктивность отклоняющих катушек в транзисторных выходных каскадах, как правило, сравнительно мала. Это заставляет в колебательном контуре $L_{кат}C$ не ограничиваться паразитными распределительными емкостями, как это делается в ламповых каскадах, а присоединять параллельно отклоняющим катушкам специальный конденсатор довольно значительной емкости. Подбором значения этой емкости можно добиться нужной длительности обратного хода развертки.

Достоинства и недостатки транзисторных каскадов. Как и в любых радиоэлектронных устройствах, использование в генераторах строчной развертки транзисторов имеет немало существенных достоинств, из которых в первую очередь необходимо отметить следующие:

1) портативность, малые габариты и масса аппаратуры;

2) повышенная надежность, обусловленная большим сроком службы транзисторов;

3) значительно меньшая потребляемая мощность.

Представление о выигрыше мощности, потребляемой генератором строчной развертки, для кинескопа 59ЛК2Б дает табл. 5.2, из которой следует, что генератор строчной развертки на транзисторах потребляет 15/54,2, т. е. $<30\%$ мощности, потребляемой ламповым генератором. Популярный транзисторный телевизор «Юность» при питании от аккумулятора потребляет в целом менее 13 Вт, а телевизор «Электроника ВЛ-100» менее 5,5 Вт.

Таблица 5.2

Узел генераторов строчной развертки	Ламповый генератор				Транзисторный генератор	
	Лампа	Потребляемая мощность, Вт			Транзистор	Потребляемая мощность, Вт
		Анод	Экранная сетка	Накал		
Выходной каскад	6П36С	15,0	2,0	12,6	КТ802А	10,0
Демпфер	6Д20П	5,0	—	11,34	Д302	2,4
Буферный каскад	—	—	—	—	КТ801А	0,5
Высоковольтный выпрямитель	1Ц21П	3,0	—	0,97	5ГЕ600А	3,0
Задающий генератор	6Н1П	0,5	—	3,8	МП42А	0,1
Всего		23,5	2,0	28,71		16,0

Однако применение транзисторов в развертывающих устройствах влечет за собой некоторые трудности и недостатки, из которых следует отметить следующие:

сильную зависимость параметров и режимов работы от температуры, что может привести к искажениям отклоняющего тока;

большой разброс параметров транзисторов одного типа, что часто приводит к необходимости регулировки схемы при смене транзистора;

потребность в большой мощности возбуждения;

допустимая разрывная мощность выходного строчного транзистора в 2—3 раза меньшая, чем у соответствующей строчной выходной лампы;

инерционность переключения выходного транзистора строчной развертки при переходе с прямого хода на обратный, приводящая к увеличению потребляемой мощности и ухудшению линейности отклоняющего тока.

Успехи транзисторной техники дают основания надеяться, что эти недостатки вскоре будут преодолены.

5.8. Выходной каскад генератора строчной развертки на тиристорах

Тиристор — полупроводниковый трехэлектродный (анод, катод и управляющий электрод) прибор. Отпирание тиристора происходит при подаче на анод и управляющий электрод положительного относительно катода напряжения. Но, в отличие от транзистора, тиристор не запирается при снятии или изменении полярности напряжения, поданного на управляющий электрод. Чтобы его запереть, необходимо или разорвать цепь анода или подать на него отрицательное напряжение.

К достоинствам выходного каскада развертки на тиристорах относятся: сравнительно большая разрывная мощность, значительно меньшая (в 5—6 раз) мощность управления, необходимая для отпирания; более высокая надежность и меньшая стоимость при той же разрывной мощности. Однако сложность выключения тиристоров долгое время препятствовала широкому их применению и вынуждала отказываться от его применения. И лишь недавно были созданы схемы строчной развертки на тиристорах. Упрощенный вариант одной из таких схем с двумя тиристорами и двумя диодами, представляющими собой два двусторонних ключа, приведен на рис. 5.25*а*. Диод $Д_1$ и тиристор T_1 образуют коммутирующий ключ, а диод $Д_2$ и тиристор T_2 — ключ прямого хода. Через этот ключ протекает основная часть пилообразного отклоняющего тока во время прямого хода развертки.

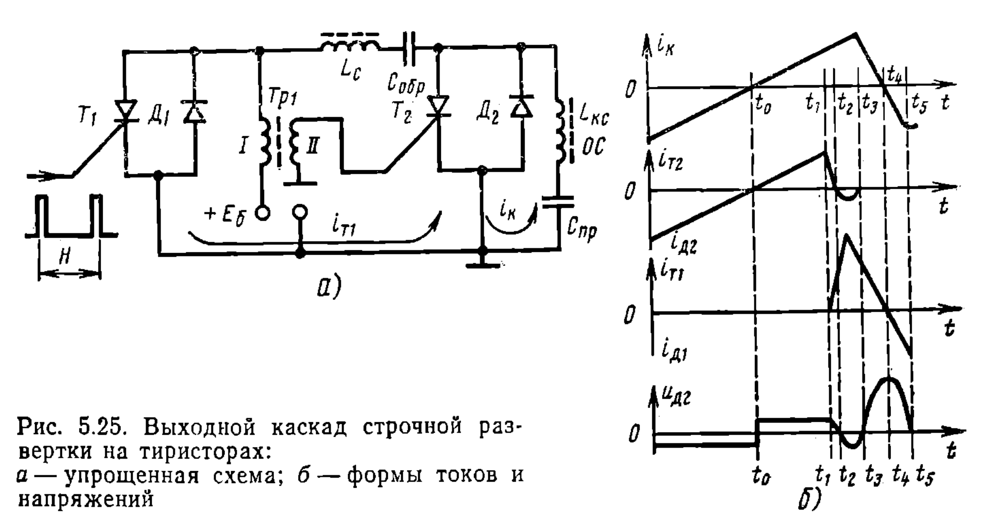


Рис. 5.25. Выходной каскад строчной развертки на тиристорах:
а — упрощенная схема; *б* — формы токов и напряжений

Через коммутирующий ключ $T_1Д_1$ протекает (начиная с последнего участка прямого хода и в течение обратного хода) ток коммутации, необходимый для выключения тиристора T_2 ключа прямого хода, что позволяет отклоняющему току менять свое

направление и осуществлять обратный ход развертки. Коммутирующий ключ $T_1Д_1$ отпирается после подачи на управляющий электрод T_1 положительного импульса напряжения от задающего генератора строчной развертки перед началом обратного хода и запирается после начала прямого хода.

На рис. 5.25*б* изображены осциллограммы токов и напряжений в этой схеме. В течение второй половины прямого хода (t_0—t_1) тиристор ключа прямого хода T_2 включен и через него протекает нарастающий отклоняющий ток $i_к$, а коммутирующий ключ $T_1Д_1$ выключен.

Напряжение на аноде T_2 имеет в это время небольшое положительное значение (рис. 5.25*б*). Скорость нарастания отклоняющего тока, как и в обычной транзисторной схеме с двусторонним ключом, определяется напряжением на конденсаторе $C_{пр}$ и индуктивностью строчных катушек. В момент t_1 тиристор T_1 включается импульсом напряжения, подаваемым на его управляющий электрод от задающего генератора, в результате чего:

1) первичная обмотка *I* трансформатора $Тр_1$ окажется включенной параллельно источнику питания $E_б$ и в магнитном поле этой обмотки накапливается некоторое количество энергии;

2) конденсатор $C_{обр}$ начинает разряжаться через включенные тиристоры T_2 и T_1, создавая ток $i_{т1}$. Скорость нарастания этого тока разряда большая благодаря высокой частоте резонанса в последовательной коммутирующей цепи $C_{обр}$, L_C, T_1, $Д_1$, T_2, $Д_2$;

3) по мере увеличения тока коммутации i_{T1} падает общий ток $i_т$, протекающий через тиристор T_2, так как через него одновременно протекают два противоположно направленных тока: $i_{т1}$ и $i_к$. Отклоняющий ток $i_к$ продолжает расти со скоростью, определяемой напряжением на конденсаторе $C_{пр}$, которое почти не изменяется за время прямого хода.

В момент t_2 быстровозрастающий ток $i_{т1}$ в коммутирующей цепи достигает значения отклоняющего тока $i_к$, и поэтому тиристор T_2 выключается. С этого момента разностный ток $i_{т1}$—$i_к$ протекает через диод $Д_2$ (интервал t_2—t_3). На катоде диода $Д_2$ с помощью тока $i_{т1}$ образуется отрицательное смещение относительно шасси, необходимое для полного выключения тиристора T_2. По достижении максимума ток $i_{т1}$ начинает уменьшаться и к моменту t_3 сделается равным $i_к$. Так как токи $i_{т1}$ и $i_к$ направлены в цепи диода $Д_2$ в противоположные стороны, то при их равенстве диод $Д_2$ запирается и на аноде тиристора T_2 опять появляется созданное конденсатором $C_{пр}$ положительное напряжение. Так как положительное напряжение на управляющий электрод тиристора T_2 в это время не подается, то тиристор T_2 остается закрытым. Следовательно, ключ прямого хода T_2—$Д_2$ закрыт и в момент t_3 начинается обратный ход развертки. Отклоняющий ток $i_к$ во время обратного хода развертки проходит через конденсатор $C_{обр}$, катушку L_c и ключ T_1—$Д_1$. Энергия, запасенная в строчных катушках $L_{к.с}$ к концу прямого хода переходит в конденсатор $C_{обр}$, заряжая его в течение первой половины обратно-

го хода (t_3—t_4). Эта энергия добавляется к энергии, накопленной в конденсаторе за время прямого хода (0—t_1). Во время второй половины обратного хода (t_4—t_5) энергия, накопленная в конденсаторе, превращается в энергию магнитного поля строчных отклоняющих катушек ОС и катушки L_c. Во время первой половины обратного хода (t_3—t_4) ток $i_к=i_{т1}$ протекает через тиристор T_1, а во время второй половины (t_4—t_5) — через диод $Д_1$. В конце обратного хода t_5 диод отпирается из-за изменения полярности импульса напряжения обратного хода на его катоде и начинается прямой ход (интервал 0—t_0). Первая половина прямого хода в интервале 0—t_0 обеспечивается током $i_к$, проходящим через диод $Д_2$. Диод $Д_1$ запирается в момент t_5 под воздействием положительного напряжения, которое приложено к аноду от источника $E_б$. В интервале 0—t_1 энергия, накопленная в обмотке *I* трансформатора $Тр_1$, переходит в конденсатор $C_{обр}$, компенсируя в нем расход энергии, имевшийся во время обратного хода. В интервале 0—t_0 положительный запускающий импульс напряжения с обмотки *II* трансформатора $Тр_1$ подается на управляющий электрод тиристора T_2, но последний не включается до момента t_0, так как на его аноде в этом интервале имеется отрицательное напряжение, обусловленное током через диод $Д_2$ (см. рис. 5.25*д*).

5.9. Синхронизация генераторов развертки

Сущность и значение синхронизации. При рассмотрении общих принципов телевидения установлено, что устойчивое и стабильное телевизионное изображение может быть получено только при условии синхронной (с одинаковыми скоростями) и синфазной (правильно согласованной) работы развертывающих устройств, электронных лучей передающей и приемной телевизионных трубок.

Синфазность работы развертывающих устройств заключается в том, что в момент прихода в точку приема сигнала от некоторого *n*-го элемента изображения электронный луч в приемном устройстве находился бы именно на этом *n*-м элементе.

Практика показала, что добиться осуществления синхронной и синфазной работы развертывающих устройств передающей и приемной телевизионной аппаратуры и получить при этом достаточно устойчивое и четкое изображение оказалось наиболее просто с помощью так называемой принудительной синхронизации.

При принудительной синхронизации с передающего конца системы передаются вместе с сигналом изображения особые синхронизирующие импульсы, обеспечивающие синхронную и синфазную работу развертывающих устройств.

Сигналы синхронизации и их выделение. В предыдущей главе были подробно рассмотрены состав и структура полного телевизионного сигнала. Было показано, что в его состав, кроме собственно сигнала изображения, сигналов строк, входят строчные

и кадровые импульсы гашения и синхронизации, а также уравнивающие импульсы и импульсы «врезки» (см. рис. 4.11).

Чтобы несколько упростить рассмотрение принципов устройства и работы амплитудного селектора, воспользуемся фрагментом полного телевизионного сигнала, состоящего из сигнала нескольких строк, взятых из центральной части изображения (рис. 5.26). По схеме амплитудный селектор представляет собой обычный усилительный каскад, работающий в режиме ограничения.

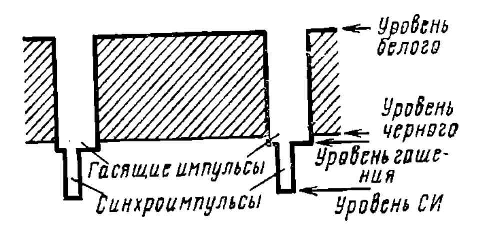


Рис. 5.26. Упрощенная форма полного телевизионного сигнала. Заштрихована область сигнала изображения

Если на базу амплитудного селектора на транзисторе с проводимостью типа *n-p-n* подать полный телевизионный сигнал с полярностью, показанной на рис. 5.27, то в начальный момент времени, поскольку смещение на базе равно нулю, а конденсатор не

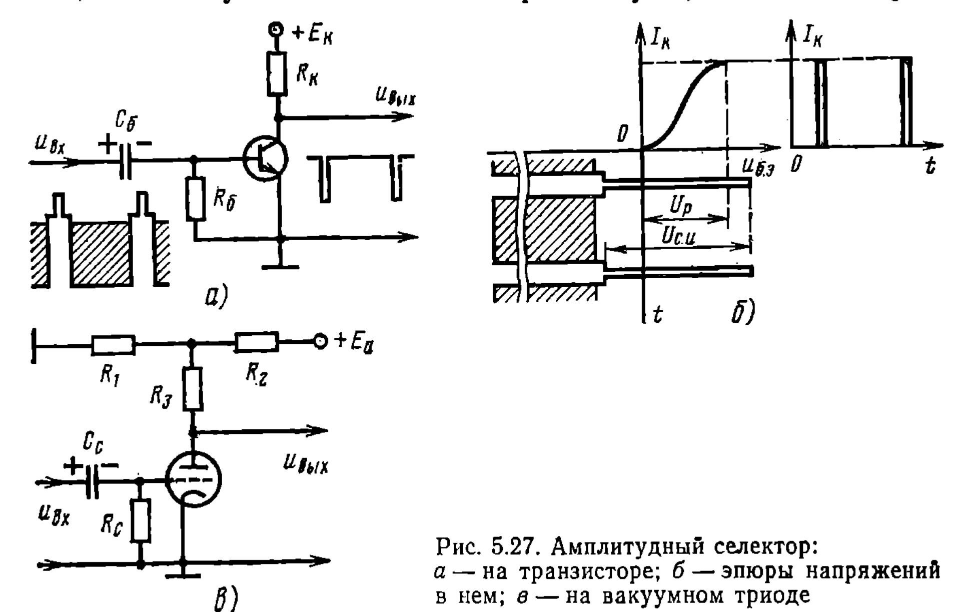


Рис. 5.27. Амплитудный селектор:
а — на транзисторе; *б* — эпюры напряжений в нем; *в* — на вакуумном триоде

пропускает постоянной составляющей входного сигнала, в область положительных напряжений попадут как синхроимпульсы, так и значительная часть сигналов изображения и гасящих импульсов. Появившийся при этом ток базы быстро зарядит конденсатор $C_б$. Обкладка, соединенная с базой, будет отрицательной, а другая — положительной, и база получит отрицательное смещение. При достаточно большой постоянной времени цепи разряда конденсатора $C_б$ ($\tau_{раз}=C_б R_б$) конденсатор между сосед-

ними синхроимпульсами не будет успевать сколько-нибудь заметно разряжаться; смещение на базе транзистора будет практически постоянным, автоматически фиксирующим положение синхроимпульсов относительно напряжения отсечки и насыщения.

Сигнал изображения и гасящие импульсы, находясь за напряжением отсечки ($U_б=0$), через транзистор не пройдут. Импульсы синхронизации, пройдя через транзистор, будут ограничены сверху из-за насыщения коллекторного тока, а снизу — из-за его отсечки.

Если по какой-либо причине принимаемый сигнал возрастет, синхроимпульсы сместятся в более положительную область, что вызовет увеличение тока базы, а следовательно, и отрицательного напряжения на конденсаторе $C_б$. В результате сигнал сместится в сторону отрицательных напряжений. Вершины синхроимпульсов останутся практически на прежнем уровне.

В случае применения в амплитудном селекторе транзистора проводимости *p-n-p* полярность входного сигнала и напряжение источника коллекторного питания должны быть взяты обратными по сравнению с полярностью, показанной на рис. 5.27*а* и *б*. В остальном амплитудный селектор будет работать аналогично.

Практически подобным же образом работает амплитудный селектор на вакуумном триоде или пентоде. В ламповом селекторе (рис. 5.27*в*) ограничение импульсов сверху происходит в результате появления сеточных токов, заряда ими сеточного конденсатора и смещения из-за этого рабочей точки в область отрицательных напряжений. Рабочая точка смещается до такого значения, при котором вершины синхроимпульсов незначительно заходят в область положительных сеточных напряжений. Снизу импульсы ограничиваются благодаря отсечке анодного тока.

Для надежной селекции смеси синхроимпульсов из полного телевизионного сигнала необходимо, чтобы амплитуда синхроимпульсов $u_{си}$ на входе селектора была больше раствора входной динамической характеристики $U_р$ (см. рис. 5.27*б*). Обычно $U_р = (0{,}5 \div 0{,}8)\, u_{с.и}$.

Разделение синхроимпульсов. Для получения устойчивых телевизионных изображений необходимо, чтобы на задающие генераторы разверток регулярно поступали строчные и кадровые синхронизирующие импульсы. Поэтому после выделения из полного телевизионного сигнала с помощью амплитудного селектора сложной синхросмеси необходимо отделить строчные синхроимпульсы от кадровых.

Простейшим способом разделения строчных и кадровых синхроимпульсов, как уже говорилось в гл. 4, является применение дифференцирующей и интегрирующей цепочек, показанных на рис. 5.28. При подаче на вход дифференцирующей цепочки положительных импульсов длительностью $t_и \gg RC$ на выходе цепочки будут действовать лишь положительные и отрицательные всплески напряжения. Причем первые будут совпадать с фронтом, а вторые — со срезом импульсов.

При подаче на вход интегрирующей цепочки прямоугольных импульсов длительностью $t_и > 3RC$ напряжение на выходе за время действия импульса почти достигает входного напряжения. Но если длительность $t_и < RC$, то напряжение на выходе не успеет

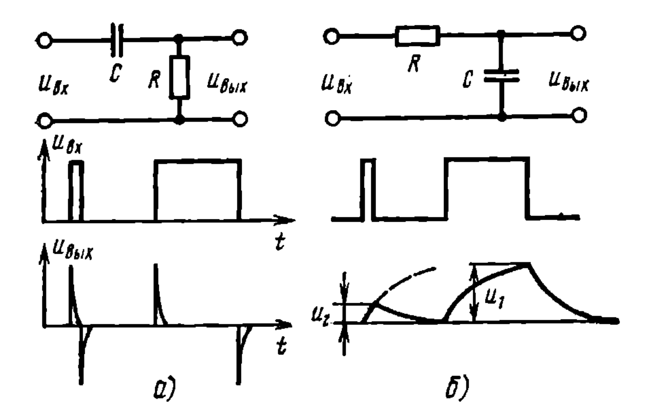


Рис. 5.28. Дифференцирование и интегрирование импульсов:
а — дифференцирующая цепочка и эпюры напряжений на ней; *б* — интегрирующая цепочка и эпюры на ней

достаточно вырасти до окончания действия импульса и конденсатор начнет разряжаться. Таким образом, импульсы большой длительности на выходе интегрирующей цепочки получаются большими (см. U_1 на рис. 5.28*б*), малой длительности — малыми (U_2).

Работа интегрирующей цепи как селектора кадровых импульсов характеризуется коэффициентом подавления импульсов малой длительности (т. е. строчных) $K_{под} = U_1/U_2$. Коэффициент подавления однозвенной цепочки колеблется в пределах от 3 до 10. Часто такого подавления недостаточно, и тогда применяют двухзвенные цепочки, коэффициент подавления которых возрастает до 25—30. Иногда применяют даже трехзвенные цепочки.

Импульсная синхронизация. Синхронизацией называется процесс навязывания генератору частоты колебаний внешнего источника.

Как известно, окончание периода собственных колебаний блокинг-генератора или мультивибратора определяется моментом достижения на базе (или на сетке) такого напряжения, при котором происходит отпирание транзистора (или лампы): $U_б = 0$ или $U_с = E_{с.о}$ (см. рис. 5.4 и 5.5).

Для того чтобы навязать генератору развертки частоту колебаний внешнего источника, на базу транзистора или сетку лампы задающего генератора подают синхронизирующие импульсы. Период собственных колебаний генератора должен быть больше периода следования синхронизирующих импульсов. При этом синхроимпульсы, складываясь с напряжением, действующим на базе (сетке) блокинг-генератора или мультивибратора, будут открывать транзистор (лампу) несколько раньше естественного окончания процесса и частота колебаний генератора будет определяться уже не параметрами цепей, а частотой приходящих синхроимпульсов.

Если собственная частота колебаний генератора развертки окажется выше частоты следования синхроимпульсов, генератор будет продолжать работать в автоколебательном режиме, так как синхроимпульсы будут приходить тогда, когда транзистор или лампа уже открыты.

В импульсном генераторе, работающем в режиме синхронизации, должны выполняться следующие требования:

синхронизирующие импульсы должны иметь достаточную амплитуду и соответствующую полярность;

собственная частота колебаний генератора развертки f_0 должна быть несколько ниже частоты повторения синхроимпульсов ($f_0 < f_{с.и}$ или $T_0 > T_{с.и}$).

Рассмотрим для примера процесс синхронизации блокинг-генератора на транзисторе (см. рис. 5.4*а*). Обычно синхронизация такого генератора осуществляется подачей отрицательных импульсов (рис. 5.29*а*) на базу транзистора $U_б$. В отсутствие синхронизирующих импульсов транзистор отпирается в моменты t_1, t_2, t_3 и т. д., т. е. через интервалы времени T_0, соответствующие периоду собственных колебаний.

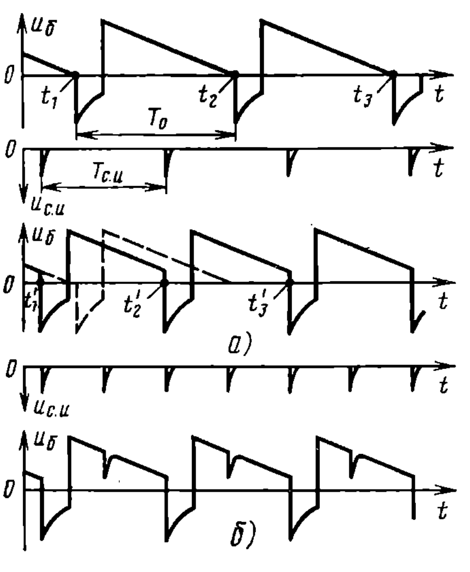


Рис. 5.29. Эпюры напряжений, поясняющие процесс синхронизации блокинг-генератора:
а — синхронизация импульсами с частотой следования, близкой к собственной частоте блокинг-генератора; *б* — синхронизация импульсами удвоенной частоты

Напряжение синхронизирующих импульсов $U_{с.и}$, складываясь с напряжением сигнала на базе $U_б$, создает на ней суммарное напряжение, которое оказывается отрицательным, вследствие чего транзистор отпирается несколько раньше естественного процесса, а именно в моменты t'_1, t'_2, t'_3 и т. д.

Для устойчивой синхронизации необходимо, чтобы крутизна фронтов и амплитуда синхроимпульсов были постоянными. Если амплитуда и крутизна фронтов импульсов по каким-либо причинам будут изменяться, то интервалы времени между моментами t'_1, t'_2, t'_3 и т. д. будут неодинаковыми, так как импульсы большей амплитуды и с более крутыми фронтами будут отпирать блокинг-генератор раньше, чем с меньшей амплитудой и с менее крутыми фронтами.

Синхронизация возможна также импульсами, частота повторения которых в целое число раз выше собственной частоты генератора (рис. 5.29*б*). В этом случае для синхронизации использу-

ются не все импульсы, а каждый n-й, где n — кратность частоты синхронизирующих импульсов. Такой режим называется делением частоты импульсов, а устройство, осуществляющее деление, — делителем частоты.

Недостатком импульсной синхронизации генераторов развертки является их сравнительно низкая помехоустойчивость. Импульсные и шумовые помехи, проникая в канал синхронизации, вызывают преждевременное срабатывание задающих генераторов, синхронизация нарушается, изображение на экране кинескопа искажается. Особенно подвержены действию помех генераторы строчной развертки. Генератор кадровой развертки, для которой синхроимпульсы выделяются из синхросмеси посредством интегрирующей цепочки, являющейся фильтром нижних частот, в значительно меньшей степени подвержен воздействию помех.

Борьба с помехами. Импульсные помехи, превышающие амплитуду синхроимпульсов, попадая на вход амплитудного селектора, создают соответствующее дополнительное отрицательное смещение на конденсаторе $C_б$ (или $C_с$ в ламповом селекторе), и транзистор или лампа может запереться на время, значительно превышающее длительность действия помехи. Серия строчных синхроимпульсов, следующая за импульсом помехи, может не открыть транзистор или лампу, пока напряжение на входном конденсаторе не уменьшится до нормального. На генератор строчной развертки все это время не будут поступать синхроимпульсы, он перейдет в режим автоколебаний с периодом, большим периода следования синхроимпульсов, и синхронизация нарушится.

Для ослабления подобного действия помехи на входе амплитудного селектора включают цепочку, состоящую из параллельно соединенных $R_п$ и $C_п$ (рис. 5.30). Значения величин этой цепочки выбираются из условий $C_б \gg C_п \gg C_{вх}$. Практически берут $C_б = (10 \div 20)\,C_п$. Постоянную времени цепочки $R_пC_п$ берут в пределах $(0{,}2 \div 0{,}5)\,T_{стр}$. При таком выборе элементов помехозащитной цепочки с приходом импульсной помехи заряжается в основном конденсатор $C_п$, который затем быстро заряжается через $R_п$ и не изменяет напряжение смещения. В генератор будут непрерывно поступать синхронизирующие импульсы. Такие помехозащитные цепочки сейчас применяют практически во всех телевизорах.

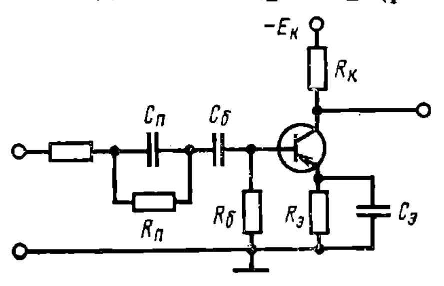


Рис. 5.30. Амплитудный селектор с помехозащитной цепочкой $C_пR_п$

Инерционная синхронизация. Схемы с непосредственной импульсной синхронизацией генераторов строчной развертки весьма просты. Но даже при применении всевозможных мер защиты от помех помехоустойчивость их оказывается недостаточной. Поэтому в современных телевизорах синхронизация генераторов

строчной развертки осуществляется с помощью так называемых инерционных систем синхронизации, основанных на автоматической подстройке частоты и фазы (сокращенно АПЧиФ) задающих генераторов до значений частоты и фазы синхронизирующих импульсов. Находит также применение несколько иное название этой системы — фазовая автоподстройка частоты (сокращенно ФАПЧ).

Особенно существенные достоинства имеет применение синхронизации с помощью АПЧиФ генераторов строчной развертки в транзисторных телевизорах. Это связано не только с повышением помехоустойчивости синхронизации, но и с тем, что система АПЧиФ позволяет преодолеть некоторые трудности, присущие транзисторным устройствам (инерционность переключения мощных транзисторов, затягивание фронтов строчных синхроимпульсов в амплитудном селекторе, завал фронтов управляющих импульсов в каскадах строчной развертки, нестабильность параметров применяемых транзисторов и т. п.).

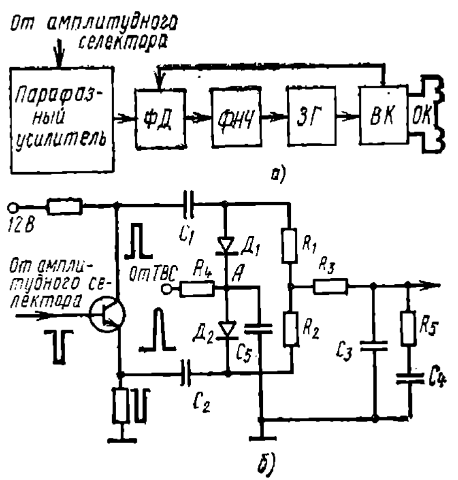


Рис. 5.31. Фазовый дискриминатор: *а* — структурная схема; *б* — принципиальная (*ФД* — фазовый дискриминатор, *ЗГ* — задающий генератор, *ВК* — выходной каскад *ФНЧ* — фильтр низкой частоты)

Строчные синхроимпульсы, получающиеся на выходе амплитудного селектора, подаются на парафазный усилитель (рис. 5.31*а, б*), на двух нагрузках которого вырабатываются импульсы, равные по амплитуде и противоположные по знаку. Эти импульсы подаются на фазовый дискриминатор (фазовый детектор). На этот же дискриминатор подаются колебания, снимаемые с выходного каскада строчной развертки. Фазовый дискриминатор сравнивает частоту и фазу колебаний строчного генератора с частотой и фазой строчных синхроимпульсов. Если эти частоты и фазы разошлись, то дискриминатор вырабатывает управляющее напряжение, пропорциональное этому расхождению. Это напряжение, пройдя фильтр нижних частот, воздействует на задающий генератор строчной развертки и изменяет его частоту до нужного совпадения частот и фаз.

Сигнал на выходе фазового дискриминатора, кроме медленно изменяющегося управляющего напряжения, содержит остатки синхроимпульсов и импульсы помех. Для устранения этой вредной переменной составляющей на пути сигнала ставится фильтр нижних частот. Повышение помехоустойчивости системы синхронизации с помощью АПЧиФ обусловлено, во-первых, тем, что синхроимпульсы представляют собой регулярную последователь-

ность импульсов, а помехи как импульсные, так и шумовые носят случайный характер. Вероятность проникновения помех в задающий генератор уменьшается применением ключевого (клапанного) устройства, открывающегося только на то время, когда через него должен пройти очередной синхроимпульс. Остальное время между импульсами ключевое устройство закрыто и помехи через него пройти не могут. Роль ключа в системе АПЧиФ играет фазовый дискриминатор, так как сравнение фаз синхроимпульсов и импульсов обратного хода строчной развертки происходит только во время обратных ходов.

Другая причина повышения помехоустойчивости системы синхронизации с помощью АПЧиФ заключается в том, что в ней происходит сравнение частоты и фазы не во время передачи каждого отдельного импульса, а за сравнительно длительный промежуток времени. Поэтому искажение или даже пропадание отдельных синхроимпульсов не влекут за собой заметного нарушения синхронизации.

К дискриминатору через резистор R_4 (см. рис. 5.31*б*) подводятся положительные импульсы обратного хода строчной развертки, снимаемые со специальной обмотки выходного строчного трансформатора (ТВС). С помощью интегрирующей цепочки R_4C_5 эти импульсы преобразуются в точке *А* в пилообразное напряжение. Это напряжение оказывается приложенным к диодам $Д_1$ и $Д_2$ в различной полярности. Кроме того, на диоды подаются с парафазного усилителя через конденсаторы C_1 и C_2 разнополярные равные по амплитуде импульсы синхронизации. Полярность синхроимпульсов должна быть такой, чтобы диоды открывались ими.

Если к точке *А* не подводятся импульсы обратного хода или пилообразное напряжение сравнения при поступлении синхроимпульсов проходит через нуль (рис. 5.32*а*), то одинаковые синхро-

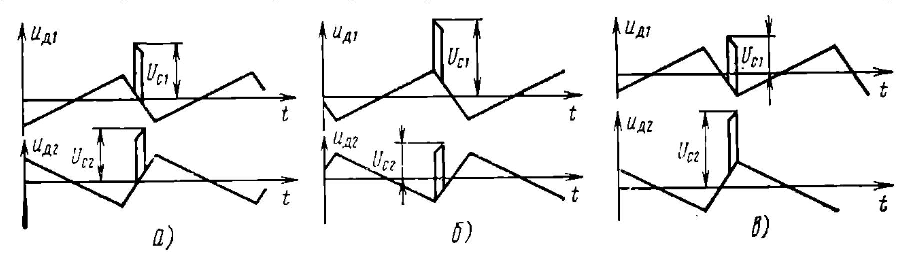


Рис. 5.32. Кривые напряжений на диодах фазового дискриминатора:
а — собственные колебания генератора строчной развертки в фазе с синхроимпульсами; *б* — колебания строчного генератора опережают синхроимпульсы; *в* — колебания строчного генератора отстают от синхроимпульсов

импульсы отопрут диоды и емкости C_1 и C_2 зарядятся до одинакового напряжения. По окончании импульсов диоды под воздействием напряжений на конденсаторах C_1 и C_2 запрутся и конденсатор C_1 начнет разряжаться по цепи: левая обкладка C_1, нагрузка парафазного усилителя, источник питания, корпус, конденса-

тор C_3 (плюс на нижней обкладке), резисторы R_3 и R_1, правая обкладка C_1.

В это же время конденсатор C_2 разряжается по цепи: правая обкладка C_2, резисторы R_2 и R_3 конденсатор C_3 (плюс на верхней обкладке), корпус, вторая нагрузка парафазного усилителя, левая обкладка конденсатора C_2.

Так как заряды на конденсаторах C_1 и C_2 одинаковы, то при их разряде суммарный заряд на конденсаторе C_3 будет равен нулю.

Если пилообразное напряжение опережает по фазе напряжение синхроимпульсов (см. рис. 5.32*б*) или отстает (см. рис. 5.32*в*), то к диодам $Д_1$ и $Д_2$ будут приложены разные напряжения, конденсаторы C_1 и C_2 зарядятся на разное напряжение и при их разряде на конденсаторе C_3 появится заряд, равный разности зарядов на C_1 и C_2.

Управляющее напряжение того или иного знака, созданное фазовым дискриминатором, подводится к задающему генератору строчной развертки через низкочастотный фильтр, устраняющий переменную составляющую. Простейшим фильтром могли бы служить обычная интегрирующая цепочка R_3C_3. Но в системах автоматического регулирования и, в частности, в АПЧиФ применение такого фильтра создает благоприятные условия для возникновения паразитных колебаний (затухающих и даже незатухающих). Устранить эти колебания можно, применив так называемый пропорционально интегрирующий фильтр. С этой целью в схему добавляется ускоряющая цепочка R_5C_4.

Для достижения синфазности импульсов задающего генератора и синхроимпульсов используется свойство блокинг-генераторов и мультивибраторов изменять свою частоту при изменении напряжения на базе (или сетке).

Глава 6

Искажения телевизионного изображения и их коррекция в усилительном тракте

6.1. Искажения телевизионного изображения и причины их возникновения

В процессе телевизионной передачи неизбежно возникают различного рода искажения, в результате которых телевизионное изображение на экране кинескопа отличается от оптического, т. е. изображения спроецированного на фотокатод передающей телевизионной трубки.

Основные искажения телевизионного изображения, наблюдаемые на экране кинескопа, следующие:

геометрические искажения (изменение масштаба отдельных элементов изображения, в результате которых отдельные элементы изображения вытягиваются, а другие сжимаются);

снижение четкости изображения;

многоконтурность изображения;

градационные искажения (нарушение правильности передачи оттенков яркости);

нарушение правильности передачи цветов;

шумовые искажения (появление на экране беспорядочной засветки в виде мерцающих точек);

искажения, вызванные работой различного рода электрических устройств и мешающих радиостанций, наблюдаемые в виде паразитных узоров на экране кинескопа или периодического нарушения синхронизации (подергивание строк или кадров).

Геометрические искажения вызываются неправильной работой развертывающих устройств и подробно рассмотрены в гл. 3 и 5.

Остальные виды искажений обусловлены физическими процессами в телевизионных передающих трубках, кинескопах, усилительных трактах, линиях передачи и в радиотрактах.

Так как в настоящей главе рассмотрены природа возникновения искажений и их коррекция в усилительном тракте, прежде всего необходимо хорошо разобраться со свойствами и особенностями усилителей сигнала изображения.

6.2. Видеоусилители без коррекции

Схема видеоусилителей. Наличие в передаваемых изображениях не только плавных переходов, но и резких вертикальных (наклонных) границ между отдельными деталями приводит к тому, что сигнал изображения имеет импульсный характер. Поэтому, в отличие от обычных усилителей звуковых непрерывных колебаний, усилители сигнала изображения должны обладать широкой полосой пропускания (до нескольких мегагерц).

Для усиления сигналов изображения применяются, как правило, апериодические *RC*-усилители (реостатные усилители) на транзисторах. Для расширения полосы пропускания и снижения фазовых и нелинейных искажений в усилители вводятся специальные корректирующие цепи. В некоторых случаях применяют усилители постоянного тока, представляющие собой реостатный усилитель с непосредственной связью между каскадами (без переходных емкостей).

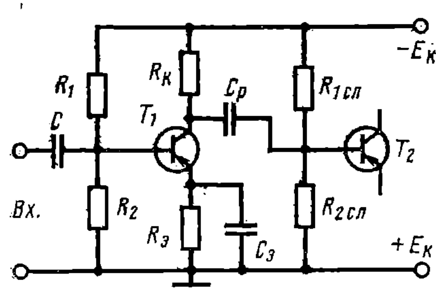


Рис. 6.1. Усилитель сигнала изображения на биполярном транзисторе

Рассмотрим схему усилителя сигнала изображения на биполярном транзисторе без корректирующих цепей.

Основной схемой включения биполярного транзистора, применяющихся в усилителях, является схема с общим эмиттером (рис. 6.1).

Для анализа работы усилителя в определенном диапазоне частот воспользуемся эквивалентной схемой (рис. 6.2*а*), в которой биполярный транзистор заменен эквивалентным генератором тока. Сопротивление базы транзистора $r_б$ для современных транзисторов примерно 40—150 Ом), $C_{вых}$ — выходная емкость транзистора, $C_м$ — емкость монтажа. Индексами «сл» обозначены элементы схемы следующего каскада.

Для упрощения эквивалентной схемы можно пренебречь выходным сопротивлением транзистора, так как оно значительно больше входного сопротивления следующего каскада: $R_{вых} \gg r_{б.э.сл}$. Сопротивления плеч делителя следующего каскада $R_{1сл}$ и $R_{2сл}$ можно объединить в одно сопротивление: $R_{д.сл} = R_{1сл}R_{2сл}/R_{1сл}+R_{2сл}$.

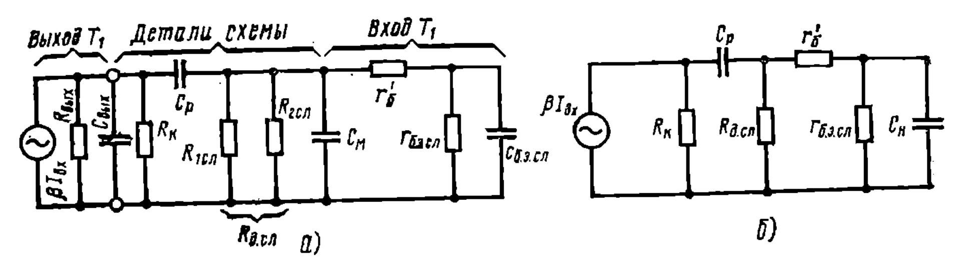


Рис. 6.2. Эквивалентная схема транзисторного усилителя сигнала изображения: *а* — полная; *б* — упрощенная

Так как емкость разделительного конденсатора $C_р$ на несколько порядков больше остальных емкостей, то все емкости, шунтирующие сопротивление нагрузки, можно объединить в одну: $C_в = C_{вых} + C_м + C_{б.э.сл}$.

В результате получим более простую и более удобную для анализа эквивалентную схему (рис. 6.2*б*).

Так как транзистор в отличие от лампы, является усилителем тока, то усиленный в β раз его ток должен протекать по нагрузке каскада, т. е. через входное сопротивление $r_{бэ}$ следующего транзистора. Однако часть тока неизбежно ответвляется в сопротивление коллекторной нагрузки $R_к$ и через сопротивление делителя $R_д$ следующего каскада.

Сопротивление $R_к$ обеспечивает питание цепи коллектора (см. рис. 6.1) по постоянному току, а сопротивления делителя R_1R_2 обеспечивают необходимый ток базы. Таким образом, сопротивлением нагрузки транзистора по переменному току $R_{к\sim}$ является параллельное соединение трех сопротивлений:

$$R_{к\sim} = [1/R_к + 1/R_{д.сл} + 1/r_{б.э.сл}]^{-1}.$$

Так как $R_к \gg r_{б.э.сл} \ll R_{д.сл}$, фактически сопротивлением нагрузки каскада по переменному току является входное сопротивление следующего каскада: $R_{к\sim} \approx r_{б.э.сл}$.

Амплитудно- и фазочастотные характеристики видеоусилителя. Наличие в эквивалентной схеме двух реактивных (частотнозависимых) элементов $C_р$ и $C_в$ приводит к тому, что коэффициент усиления и фазовый сдвиг между входным и выходным сигналами в широком диапазоне частот резистивного каскада (см. рис. 6.1) не будут постоянными.

Для упрощения анализа этих характеристик весь диапазон усиливаемых частот сигнала изображения условно разбивается на три участка: нижние, средние и верхние частоты. Это упрощает анализ, так как позволяет для каждого участка диапазона частот составить свою эквивалентную схему. Под средними частотами понимается участок диапазона усиливаемых частот, в котором можно не учитывать одновременно и влияние разделительной и паразитных емкостей. Поэтому на средних частотах должно выполняться условие

$$[2\pi f C_в]^{-1} \gg r_{б.э.сл} \text{ и }]2\pi f C_р]^{-1} \ll r_{б.э.сл}.$$

В результате получаем простую эквивалентную схему усилителя для средних частот (рис. 6.3*а*).

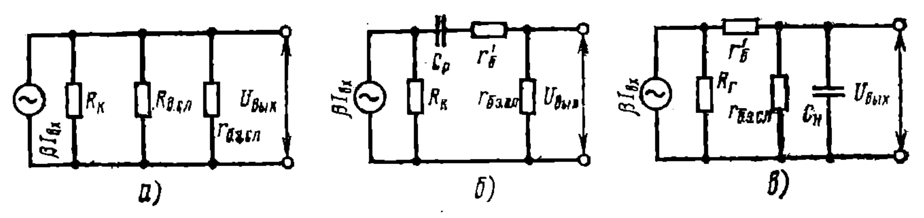


Рис. 6.3. Эквивалентные схемы транзисторного видеоусилителя для различных диапазонов частот:
а — для средних; *б* — для нижних; *в* — для верхних

На нижних частотах диапазона можно также пренебречь шунтирующим действием паразитных емкостей, но необходимо учитывать влияние разделительной емкости $C_р$, которая включена последовательно в переходную цепь и совместно с сопротивлением $R_{вх.сл}$ образует емкостно-резистивный делитель напряжения (рис. 6.3*б*). С понижением частоты происходит перераспределение напряжений между сопротивлением $r_{б.э.сл}$ и конденсатором $C_р$: падение напряжения на $C_р$ возрастает. Поэтому на эквивалентной схеме усилителя для нижних частот (рис. 6.3*б*) переходную цепь $C_р r_{б.э.сл} r'_б$ надо учесть обязательно.

На верхних частотах емкостное сопротивление разделительной емкости $C_р$ становится очень малым и конденсатор $C_р$ на эквивалентной схеме можно не учитывать. Зато шунтирующее влияние паразитных емкостей, которые включены параллельно нагрузке, резко возрастает, так как их емкостное сопротивление становится соизмеримым с $r_{б.э.сл}$. Нагрузкой усилителя уже является не чисто активное сопротивление $r_{б.э.сл}$, а емкостно-активное сопротивление $z_н < r_{б.э.сл}$. Объединим сопротивления $R_к$ и $R_{д.сл}$ в одно, которое можно считать внутренним сопротивлением генератора входного сигнала $R_г$, и найдем, что

$$R_г = R_к R_{д.сл}/(R_к + R_{д.сл}).$$

В результате получим эквивалентную схему усилителя для верхних частот (рис. 6.3*в*).

Как известно, основным показателем усилителя является его коэффициент усиления, т. е. отношение выходного напряжения ко входному: $K = U_{вых}/U_{вх}$.

В диапазоне частот коэффициент усиления не остается постоянным, а снижается по сравнению с его значением на средних частотах K_0:

на нижних частотах уменьшается $U_{вых}$ из-за влияния разделительной емкости $C_р$;

на верхних частотах уменьшается $U_{вых}$ из-за шунтирующего действия паразитных емкостей $C_н$.

Зависимость коэффициента усиления от частоты носит название амплитудно-частотной характеристики (рис. 6.4*а*). Если задаться допустимым ослаблением усиления, то можно определить нижние и верхние граничные частоты $f_{н.гр}$ и $f_{в.гр}$ и полосу пропускания усилителя *П*.

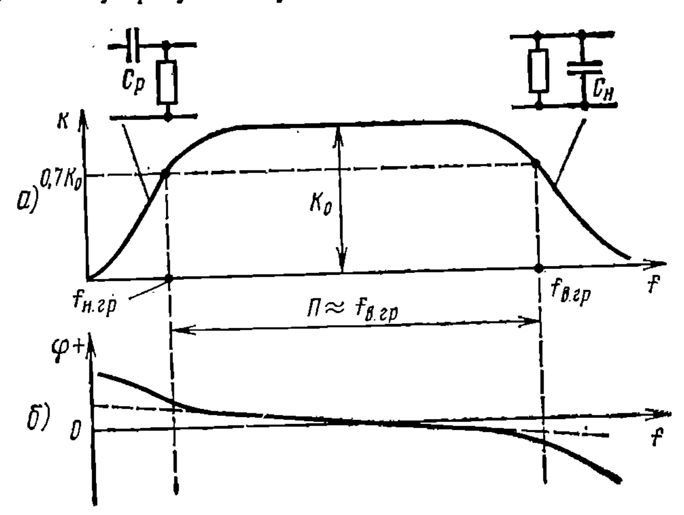


Рис. 6.4. Связь частотной и фазовой характеристик резистивного усилителя

Если считать допустимым снижение коэффициента усиления по напряжению в $1/\sqrt{2}$ раз, т. е. до 0,7 K_0, то граничные частоты будут

$$f_{н.гр} = 1/2\pi C_р R_{вх.сл} \text{ и } f_{в.гр} = 1/2\,\pi C_н R_{вх.сл}.$$

Наличие реактивных элементов в усилителе приводит не только к изменению коэффициента усиления на различных частотах, но и к изменению сдвига фаз между входным и выходным сигналами. Амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики усилителя взаимно связаны. В области средних частот (где усиление постоянно) фазовая характеристика линейна. А в области граничных частот, где усиление начинает падать, пропорциональность между фазовым сдвигом и частотой нарушается и, следовательно, время задержки составляющих сигнала, имеющих различные частоты, оказывается неодинаковым.

6.3. Влияние формы характеристик усилителей на искажения импульсных сигналов

Ограниченная полоса пропускания, нелинейность фазовой и амплитудной характеристик усилителя приводит к тому, что форма телевизионного сигнала на выходе усилителя отличается от входного сигнала. Искажения усиливаемых сигналов соответственно носят название частотных, фазовых и нелинейных.

Амплитудно-частотные искажения возникают тогда, когда полоса пропускания усилителя у́же спектра усиливаемых сигналов. При этом коэффициент усиления для различных частотных составляющих спектра сигнала оказывается разным и результирующий выходной сигнал по форме отличается от входного.

Например, при усилении импульсных сигналов прямоугольной формы спад усиления в области верхних частот вызывает растягивание фронта и среза импульса (они становятся более пологими). Спад усиления на нижних частотах вызывает искажение горизонтальной части импульса — возникает так называемый «перекос» вершины импульса.

Фазо-частотные искажения возникают в результате того, что в полосе пропускания усилителя фазовые сдвиги отдельных составляющих спектра непропорциональны их частоте (время задержки отдельных составляющих спектра сигнала становится неодинаковым) и форма выходного сигнала искажается.

Фазовые искажения в области верхних частот спектра сигнала могут вызвать появление на вершине прямоугольных импульсов выбросов и затухающих колебательных процессов. Амплитуда выбросов на горизонтальной части импульса тем больше, чем выше нелинейность фазовой характеристики в области верхних частот. Такая нелинейность фазо-частотной характеристики обычно тем больше, чем круче спад амплитудно-частотной характеристики усилителя на верхних частотах.

Нелинейные искажения. Амплитудно-частотные и фазо-частотные искажения сигнала носят название линейных, так как они обычно не зависят от нелинейности характеристик усилительных ламп или транзисторов и амплитуды усиливаемых сигналов.

Искажения формы сигналов, вызванные нелинейностью динамических характеристик усилительных ламп и транзисторов, носят название нелинейных искажений и, как правило, зависят не от частоты, а от амплитуды входного сигнала. Из-за нелинейных искажений происходит деформация усиленного сигнала по амплитуде — нарушается исходное соотношение между уровнями сигнала. Однако следует иметь в виду, что любое искажение формы усиливаемого сигнала неизбежно вызывает изменения его спектра — изменяются исходные соотношения между спектральными составляющими, появляются новые составляющие.

Если на вход однокаскадного усилителя сигнала изображения (собранного по схеме с ОЭ) подать серию прямоугольных импульсов отрицательной полярности, то на его выходе появится серия усиленных импульсов положительной полярности, в общем случае несколько искаженной формы: фронт и срез импульсов будут растянуты, а их вершина будет иметь спад (рис. 6.5).

Появление этих искажений можно объяснить:

а) с точки зрения спектральных представлений (по графику рис. 6.5*б*) видно, что полоса пропускания усилителя уже ширины спектра серии импульсов);

б) на основе рассмотрения переходных процессов, протекающих в цепях усилителя.

С точки зрения спектральных представлений спад вершины импульса появляется в результате ослабления усиления в области нижних частот — нижняя граничная частота усилителя выше, чем самая нижняя частота спектра сигнала. С точки зрения переходного процесса спад вершины импульса возникает в результате дифференцирующего эффекта в переходной цепи $C_{р}r_{б.э.сл}$ (рис. 6.3*б*).

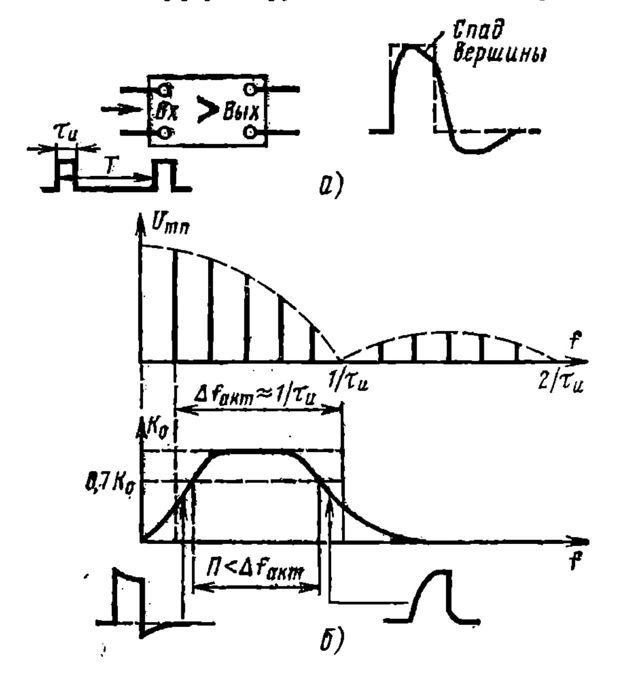


Рис. 6.5. Искажение формы П-образных импульсов:
а — искажение импульса на выходе усилителя; *б* — сопоставление спектра сигнала с полосой пропускания усилителя; слева и справа показаны искажения формы импульсов с точки зрения переходных процессов, вызванные дифференцирующим эффектом в цепи $C_{р}r_{б.э.сл}$ (см. рис. 6.3*б*) и интегрирующим эффектом в цепи $C_{н}r_{б.э.сл}$ (см. рис. 6.3*в*)

Для ослабления дифференцирующего эффекта для расширения полосы пропускания в области нижних частот постоянную времени переходной цепи $C_{р}r_{б.э.сл}$ необходимо увеличивать.

Удлинение фронта и среза импульса объясняется ослаблением усиления в области верхних частот — верхняя граничная частота усилителя ниже верхней частоты спектра сигнала. С точки зрения переходных процессов растягивание фронтов является результатом интегрирующего действия цепи $C_{н}r_{(б.э.сл)}$. Для ослабления тем самым интегрирующего эффекта для расширения полосы пропускания в области верхних частот и постоянную времени цепи $C_{н}r_{б.э.сл}$ необходимо уменьшить.

Для того чтобы ослабить амплитудное и фазовое искажения сигналов, вызванные ограниченной полосой пропускания видеоусилителя, собранного по обычной схеме (см. рис. 6.1), вводят либо отрицательную обратную связь, либо частотнозависимые корректирующие элементы, которые способствуют расширению полосы пропускания усилителя.

Большой вклад в теорию и практику частотной коррекции видеоусилителей внесли советские ученые: Г. В. Брауде, О. Б. Лурье, В. Л. Крейцер и др.

Метод переходных характеристик. Для исследования видеоусилителей широкое применение нашел метод переходных характеристик, при котором на вход усилителя подаются единичные перепады напряжения[1] (прямоугольный импульс содержит два перепада — положительный и отрицательный) (рис. 6.6*а*). Напряжение с выхода усилителя (рис. 6.6*б*) подается на вертикально отклоняющие пластины осциллографа. Генератор развертки осциллографа синхронизируется от генератора испытательных импульсов. На экране осциллографа появляется изображение (искаженный единичный перепад), которое и называется переходной характеристикой.

[1] Напряжение 1 В.

Переходной она называется потому, что характеризует способность усилителя реагировать на быстрый переход от одного состояния, когда сигнала на входе нет, к другому, когда на вход подано единичное напряжение.

Переходная характеристика оценивается следующими основными параметрами (рис. 6.6): временем нарастания импульса $\tau_н$; спадом вершины импульса $\Delta U_{макс}$; временем запаздывания импульса $\tau_з$; амплитудой выброса δ (выброс показан пунктиром).

Время запаздывания импульса определяется формой фазо-частотной характеристики.

Появление выброса связано с крутизной спада амплитудно-частотной характеристики в области верхних частот и, следовательно, с нелинейностью фазочастотной характеристики в области верхних частот. Колебательный процесс на вершине импульса может появиться в результате ударного возбуждения затухающих колебаний в цепях, содержащих индуктивность (например, корректирующий дроссель).

Таким образом, **переходная характеристика** дает представление одновременно и об амплитудно-частотной и фазочастотной характеристиках усилителя.

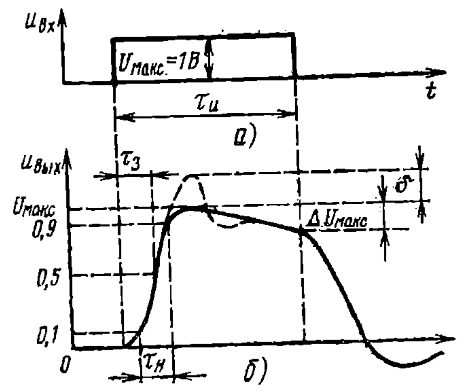


Рис. 6.6. Переходная характеристика усилителя

Для количественной оценки этих параметров переходной характеристики в испытательное импульсное напряжение замешиваются маркерные импульсы (импульсы временных меток, позволяющих оценить временной масштаб).

6.4. Влияние искажений сигнала на телевизионное изображение в видеоусилителях без коррекции

Любое искажение сигнала изображения приводит к тому, что телевизионное изображение на экране кинескопа отличается от оригинала, т. е. изображения, спроецированного на фотокатод передающей трубки.

Уменьшение крутизны фронта импульсов делает резкий переход от черного к белому (или наоборот, от белого к черному) более плавным, и контур изображения становится нечетким (смазанным). Перекос (спад) вершины импульса приводит к тому, что яркость светлой полосы на изображении постепенно уменьшается, затем после окончания полосы появляется темный «провал», который постепенно светлеет: после темной полосы появляется светлый участок. Такой вид искажений принято называть тянущимся продолжением или «тянучкой» (рис. 6.7). Выбросы и колебательные процессы на вершине импульса вызывают появление на изображении тонких черных и белых линий, параллельных контурным линиям изображения (выброс создает только одну линию, а колебательный процесс — несколько таких линий). Это создает впечатление выпуклости (объемности), пластичности контуров и называется *пластикой* (рис. 6.8).

Слабо выраженная пластика приводит к некоторому подчеркиванию контуров изображения, делает их более четкими и может оказаться даже полезной. Сильно выраженная пластика вызывает появление перед контурами изображения ярких объектов, черных окантовок или многократно повторяющихся контуров (при колебательных процессах) и существенно искажает изображение.

Нелинейные искажения сигнала могут вызвать искажение полутонов телевизионного изображения или подчеркивание различия между яркостями в более светлых или более темных его местах. Нелинейные искажения можно свести до допустимых значений путем правильного выбора ламп (транзисторов) и режимов их работы, а также используя в усилителях отрицательную обратную связь.

В некоторых случаях в усилителе сигнала изображения умышленно доби-

ваются нелинейных искажений сигнала для того, чтобы скомпенсировать соответствующие нелинейные искажения в других звеньях телевизионного тракта.

Для того чтобы телевизионное изображение на экране кинескопа как можно ближе приближалось к оригиналу, спроецированному на фотокатод передающей трубки, усилитель должен вносить минимальные искажения формы сигнала.

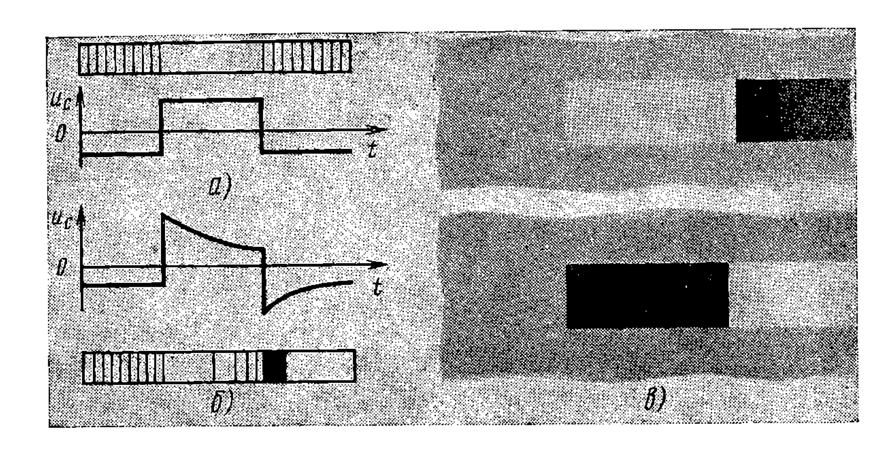


Рис. 6.7. Возникновение тянущихся продолжений (искажения типа «тянучка»): *а* — оригинал и идеальный сигнал на входе усилителя; *б* — искаженный сигнал на выходе; *в* — изображение фрагментов испытательной таблицы при наличии тянущихся продолжений

Допустимые линейные искажения сигнала определяются допустимыми значениями длительности фронта переходной характеристики, выброса δ и спада переходной характеристики $\Delta U_{\text{макс}}$.

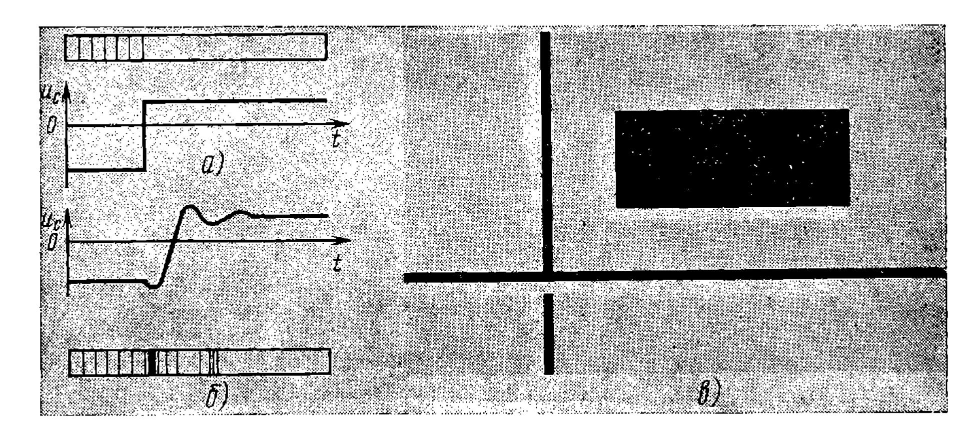


Рис. 6.8. Искажения типа «пластика»:
а — оригинал и сигнал на входе усилителя; *б* — искаженный сигнал на выходе и искаженное изображение на экране кинескопа; *в* — изображение фрагмента испытательной таблицы при наличии искажений типа «пластика»

Длительность фронта переходной характеристики всего усилительного тракта вещательного телевидения обычно не должна превышать длительность передачи одного элемента изображения $t_э$, что для телевизионного вещательного стандарта составляет $7 \cdot 10^{-8}$ с. Допустимый выброс переходной характеристики

всего телевизионного тракта можно считать равным 5%. Спад переходной характеристики за время 40 мс также не должен превышать 5%.

Для выполнения перечисленных выше требований, амплитудно-частотная характеристика видеоусилителя должна быть равномерной во всей полосе частот и не иметь крутых спадов в области нижних и верхних частот, фазо-частотная характеристика в полосе усиливаемых частот должна быть линейной.

Нелинейные искажения сигнала изображения не должны превышать 10%.

6.5. Коррекция амплитудно-частотных характеристик видеоусилителей в области нижних частот

Для компенсации спада усиления в области нижних частот в коллекторную цепь каскада (рис. 6.9*а*) включают корректирующую цепочку $R_ф C_ф$. Сопротивление $R_ф$ берется в несколько раз большим, чем сопротивление $R_к$. Конденсатор $C_ф$ выбирается таким, чтобы на средних частотах его емкостное сопротивление было значительно меньше сопротивления $R_к$.

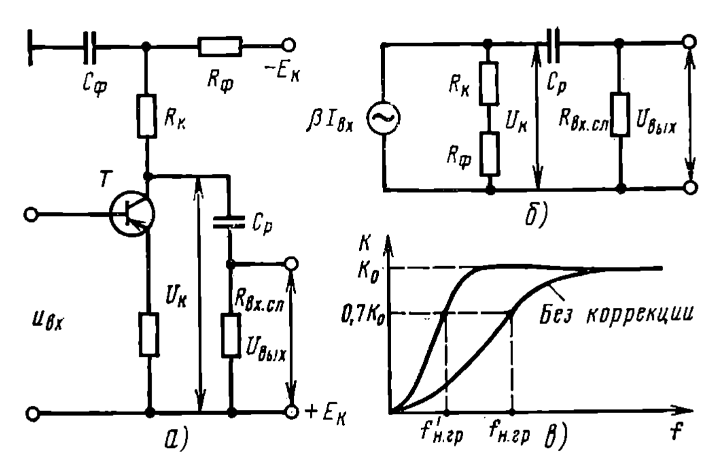


Рис. 6.9. Усилитель сигнала изображения с низкочастотной коррекцией:
а — принципиальная схема; *б* — эквивалентная схема для низких частот; *в* — форма частотной характеристики

При такой емкости $C_ф$ на средних и на верхних частотах резистор $R_ф$ будет зашунтирован конденсатором $C_ф$, и так как по условию $1/2\pi f C_ф \ll R_к$, эквивалентная схема будет соответствовать рис. 6.3*б*, т. е. корректирующая цепочка $R_ф C_ф$ никакого влияния оказывать не будет.

В области нижних частот сопротивление емкости конденсатора $C_ф$ резко возрастает, он перестает шунтировать $R_ф$ и нагрузкой транзистора будет цепочка из двух последовательно соединенных резисторов: $R_к + R_ф$ (рис. 6.9*б*).

Так как эквивалентное сопротивление нагрузки каскада при этом возрастает, то и коэффициент усиления также растет; частотная характеристика каскада расширяется влево и нижняя граничная частота понижается (рис. 6.9*в*).

Форма амплитудно-частотной характеристики каскада с низкочастотной коррекцией зависит от коэффициента коррекции $b = R_к/R_ф$ и от соотношения постоянных времени корректирующей цепи и цепи нагрузки $m = C_ф R_к / C_р R_{вх}$.

При соответствующем подборе величин $C_ф R_ф$ можно значительно снизить нижнюю граничную частоту $f_{н.гр}$ и тем самым скомпенсировать спад вершины прямоугольных импульсов. При чрезмерной коррекции можно даже получить подъем амплитудно-частотной характеристики в области нижних частот, что может привести к перекоррекции, т. е. к наклону вершины в обратную сторону.

6.6. Коррекция амплитудно-частотной характеристики видеоусилителя в области верхних частот

Применяются два способа коррекции спада амплитудно-частотной характеристики усилителей в области верхних частот:

способ, основанный на включении в усилитель одного или двух дросселей, которые, создавая в совокупности с паразитными емкостями резонансные контуры, позволяют несколько расширить частотную характеристику вправо;

способ, основанный на использовании частотнозависимой отрицательной обратной связи.

Схема простой параллельной высокочастотной коррекции. Высокочастотный дроссель (индуктивность порядка десятков микрогенри) включается в коллекторную цепь транзистора (рис. 6.10*а*) и совместно

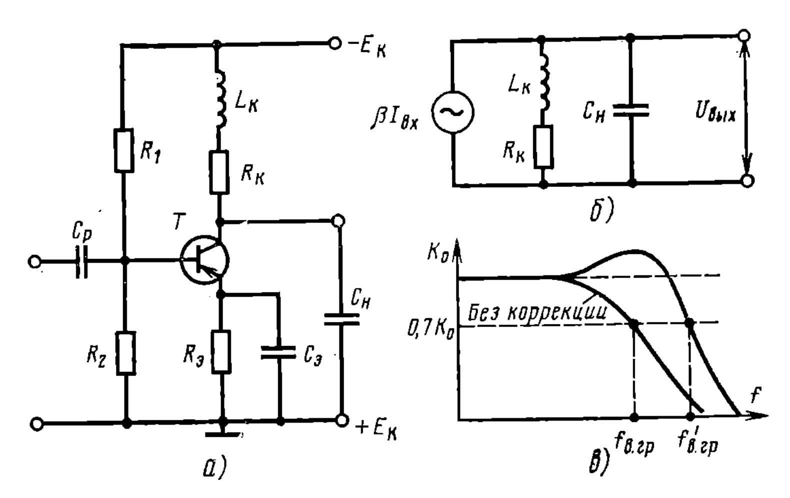


Рис. 6.10. Простая параллельная высокочастотная коррекция:
а — принципиальная схема; *б* — эквивалентная схема для области верхних частот; *в* — частотная характеристика

с паразитной емкостью $C_н$ образует параллельный колебательный контур. Подбирая индуктивность дросселя, настраивают этот контур на ту верхнюю частоту, на которой начинается спад усиления. Сопротивление параллельного контура при резонансе возрастает, и, следовательно, вместо спада усиления можно получить даже подъем. Форма частотной характеристики в области высоких частот, скорректированного усилителя, определяется добротностью контура, образованного корректирующим дросселем. Добротность контура определяется сопротивлением нагрузки в коллекторной цепи $R_к$.

При чрезмерно большой добротности в процессе усиления импульсных сигналов может произойти ударное возбуждение колебаний и на вершине импульса появятся всплески.

Схема простой последовательной высокочастотной коррекции. В этой схеме корректирующий дроссель включается в цепь нагрузки усилителя последовательно (рис. 6.11*а*) и совместно с емкостями $C_{вых}$ и $C_н$ также создает колебательный контур. По отношению к дросселю емкости $C_{вых}$ и $C_н$ включены последовательно, и эквивалентная емкость параллельного контура $C_э = C_{вых}C_н/(C_{вых}+C_н)$.

Кроме параллельного резонанса имеет место последовательный резонанс в цепи $L_{др}$ и $C_н$. Так как $C_н > C_э$, то и частота параллельного резонанса будет выше, чем последовательного.

Индуктивность корректирующего дросселя подбирается так, чтобы частота последовательного резонанса соответствовала частоте спада усиления некоррек-

тированного усилителя. На более высокой частоте начинает проявляться параллельный резонанс.

В результате последовательное включение дросселя позволяет скорректировать частотную характеристику в более широких пределах, чем при параллельном включении. Устройство с последовательной коррекцией более сложно в настройке и поэтому применяется реже, чем с параллельной коррекцией.

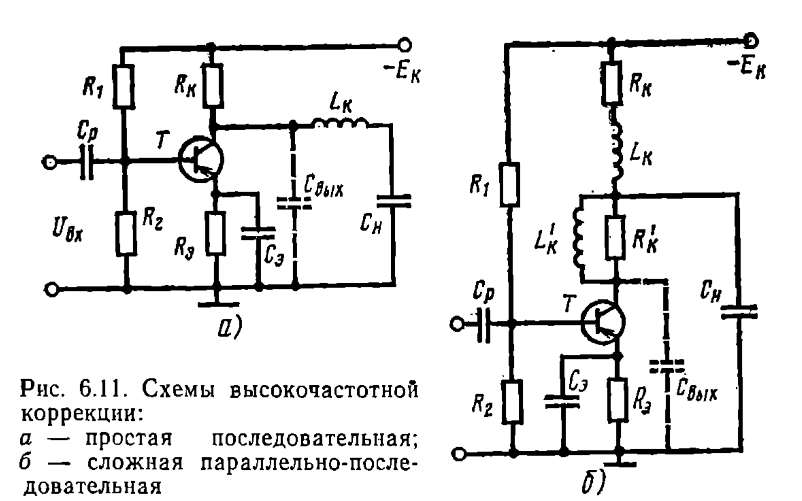


Рис. 6.11. Схемы высокочастотной коррекции:
а — простая последовательная; *б* — сложная параллельно-последовательная

Схема сложной высокочастотной коррекции. В схеме используется для корректирующих дросселя. Она является комбинацией двух предыдущих схем коррекции и называется схемой с *параллельно-последовательной коррекцией.* Существует несколько вариантов таких схем. Один из возможных вариантов показан на рис. 6.11*б*.

Схемы коррекции дросселем применяются в выходных каскадах усилителей сигнала изображения, работающих на емкостную нагрузку.

Схема высокочастотной эмиттерной коррекции. В устройстве, схема которого показана на рис. 6.12, на низких частотах шунтирую-

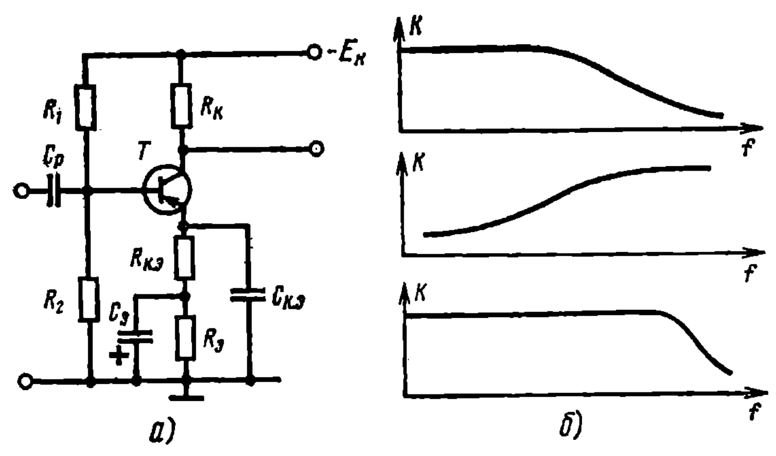


Рис. 6.12. Высокочастотная эмиттерная коррекция:
а — принципиальная схема; *б* — частотные характеристики (сверху вниз) без коррекции с учетом частотнозависимой отрицательной обратной связи и с учетом корректирующей цепи

щим действием конденсатора $C_{к.э}$ (емкость порядка сотен или тысяч пикофарад) можно пренебречь, в нем действует глубокая отрицательная обратная связь, которая значительно ослабляет коэффициент усиления каскада.

С повышением частоты сопротивление конденсатора уменьшается и начинает сказываться его шунтирующее действие, глубина отрицательной обратной связи снижается, а коэффициент усиления каскада растет.

Каскад, собранный по схеме эмиттерной высокочастотной коррекции, очень прост, широко используется в устройствах, работающих на низкоомную нагрузку, например, нагруженных на вход усилителя на биполярном транзисторе (включенном по схеме с общим эмиттером).

6.7. Коррекция в многокаскадных усилителях

В телевизионной технике широкое применение получили неинвертирующие усилители, повторяющие фазу входного сигнала, — эмиттерный, катодный и истоковый повторители рис. 6.13.

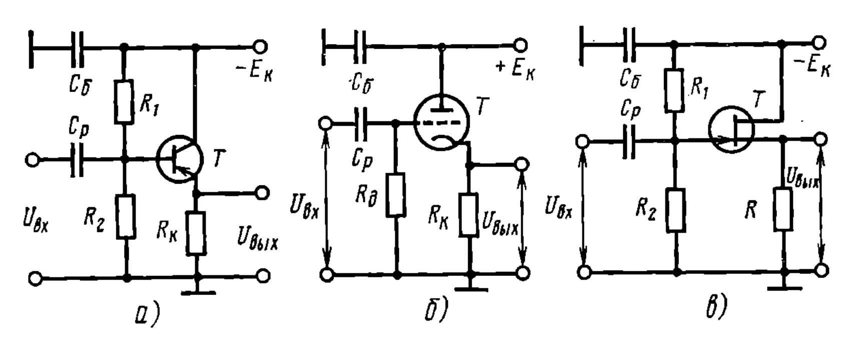


Рис. 6.13. Схемы повторителей неинвертирующих усилительных каскадов: *а* — эмиттерный; *б* — катодный; *в* — истоковый

Эти каскады охвачены последовательной отрицательной обратной связью с коэффициентом ОСС $\beta=1$. Они служат усилителями тока и мощности, напряжение не усиливают. Входное сопротивление повторителя значительно выше, чем входное сопротивление каскада с общим эмиттером (катодом, истоком), и поэтому они широко применяются на входе усилителей, работающих от высокоомного источника сигнала.

Выходное сопротивление у повторителя, наоборот, низкое, и поэтому его легко можно согласовать с низкоомной нагрузкой (коаксиальный кабель).

Таким образом, повторитель служит трансформатором сопротивлений. Наличие глубокой отрицательной обратной связи обеспечивает малый уровень нелинейных искажений, высокую стабильность коэффициента передачи по току (по мощности).

Так как на участке база — эмиттер (сетка—катод, затвор—исток) действует только небольшая доля входного напряжения, повторитель не боится перегрузки сигналами большой амплитуды.

Один широкополосный усилительный каскад дает сравнительно небольшое усиление (в среднем около 10), поэтому для уси-

ления слабых сигналов обычно применяют многокаскадные усилители. При проектировании многокаскадных усилителей встречаются следующие трудности: общая полоса пропускания такого усилителя становится у́же полосы отдельных каскадов (рис. 6.14*а*) и, кроме того, возникает опасность самовозбуждения усилителя из-за паразитной положительной обратной связи между каскадами.

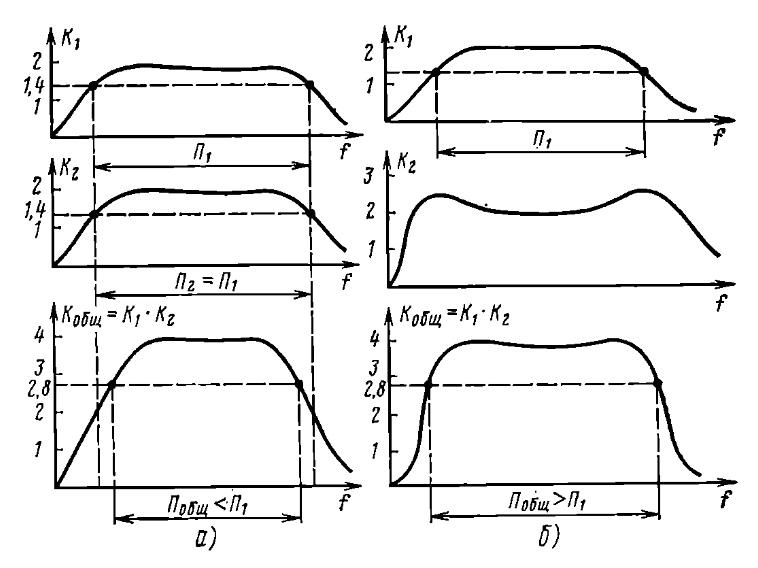


Рис. 6.14. Частотные характеристики двухкаскадных усилителей:
а — при идентичных характеристиках обоих каскадов; *б* — при наличии подъемов в одном из каскадов (случай взаимной коррекции)

Для обеспечения необходимой полосы пропускания многокаскадного усилителя применяют взаимную коррекцию частотных характеристик отдельных каскадов. Если частотная характеристика с подъемами на верхних и нижних частотах (рис. 6.14*б*), то результирующая частотная характеристика двухкаскадного усилителя получается более широкой, чем у первого каскада.

Для повышения устойчивости работы многокаскадных усилителей и предупреждения появления нежелательных обратных связей между каскадами в цепи питания каждого каскада включаются специальные развязывающие фильтры. На рис. 6.15 показана схема усилителя с развязывающими фильтрами $В_ф С_ф$. Переменные составляющие коллекторного и базового токов транзистора замыкаются через конденсатор $С_ф$ внутри своего кас-

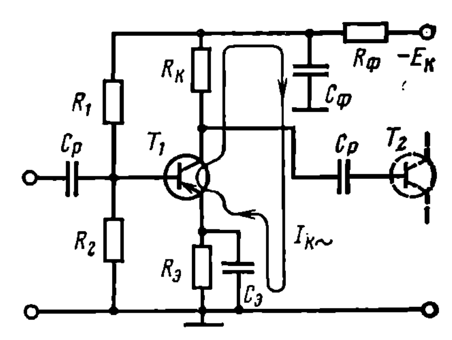


Рис. 6.15. Схема включения развязывающего фильтра в коллекторную цепь транзисторного усилителя

када на «землю» и не попадают в общий источник питания. Включение развязывающего фильтра дополнительно сглаживает пульсации коллекторного напряжения питания и корректирует усиление на низких частотах.

6.8. Шумовые помехи и их коррекция

Помехи в телевизионной аппаратуре. В процессе прохождения по телевизионному тракту на сигнал изображения накладываются различные мешающие сигналы (шумы), которые искажают его первоначальную форму, что приводит, в частности, к снижению контрастности и четкости изображения. На рис. 6.16 показаны различные источники шумов.

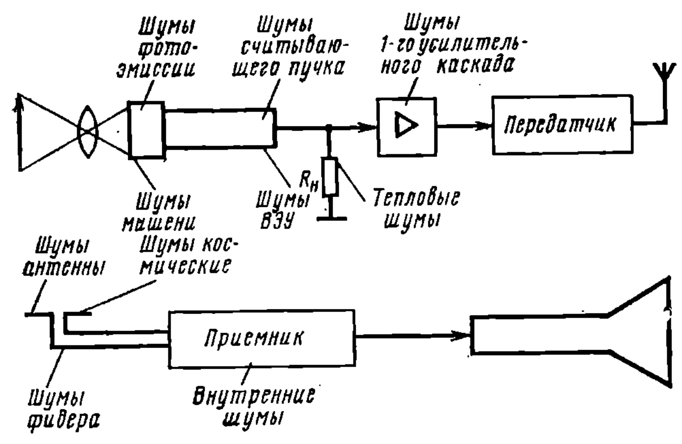


Рис. 6.16. Помехи телевизионному приему

Помехи разделяются на внешние и внутренние. Внешние помехи возникают в результате воздействия электромагнитных полей различных источников на отдельные звенья телевизионного тракта и прежде всего на антенну телевизионного приемника. Воздействие электромагнитных полей непосредственно на отдельные каскады можно устранить путем тщательной их экранировки.

Внутренние помехи возникают внутри телевизионной аппаратуры и по своей природе разделяются на тепловые и дробовые. Внутренние помехи связаны с дискретной структурой электрического тока, создаваемого упорядоченным движением отдельных (дискретных) носителей электрических зарядов — электронов.

В любом проводнике под действием окружающей температуры существует хаотическое (беспорядочное) движение электронов.

Это движение электронов образует элементарные электрические токи, имеющие произвольное направление, в результате чего суммарный ток в проводнике равен нулю. Однако в отдельные моменты времени может создаться ситуация, когда за счет преобладания электронов, движущихся в определенном направ-

лении, на концах проводника возникает шумовая ЭДС, величина и знак которой изменяются хаотически. Такие хаотические отклонения ЭДС от среднего (в данном случае нулевого) значения называются *флуктуацией*. Таким образом, любой электрический проводник (колебательный контур, резистор, антенна) является генератором шумовой ЭДС (рис. 6.17*а*).

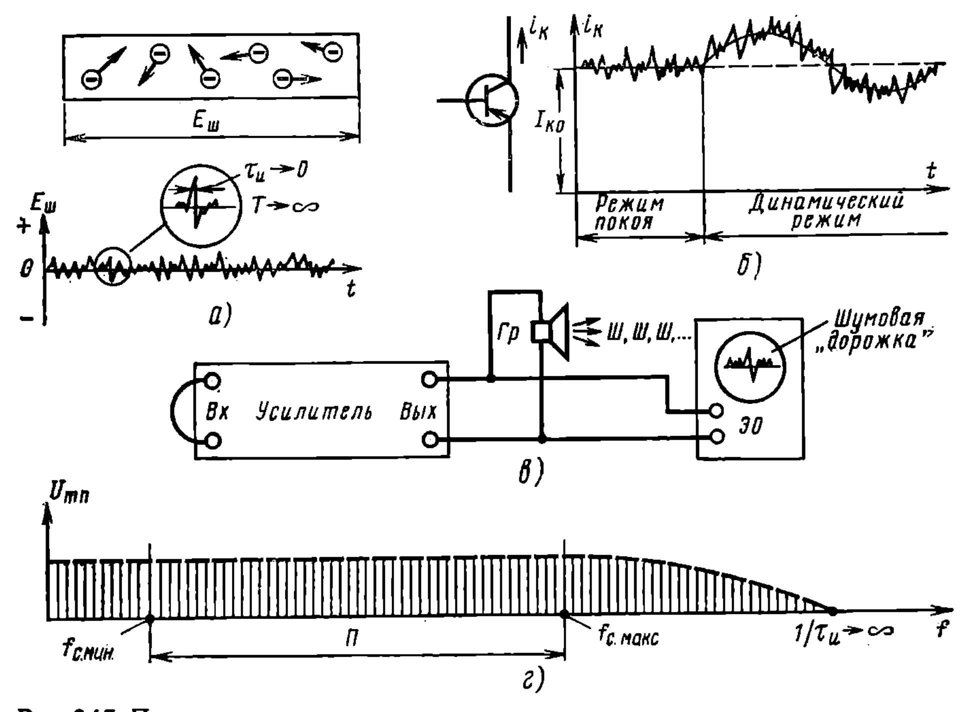


Рис. 6.17. Природа внутренних помех:
а — возникновение тепловых шумов резистора; *б* — флуктуация тока коллектора — источник дробового шума транзистора; *в* — шумы на выходе чувствительного усилителя или приемника при закороченном входе; *г* — спектр шума

Дробовые шумы наблюдаются в электронных приборах (диодах, транзисторах, электронных трубках).

Коллекторный ток транзистора (анодный ток лампы) в статическом режиме (режиме покоя) определяется режимом транзистора и имеет постоянное значение.

Но так как коллекторный ток транзистора создается движением отдельных (дискретных) носителей электрических зарядов, число которых в отдельные моменты времени отклоняется от среднего значения, то он также флуктуирует. Эта флуктуирующая составляющая, протекая через сопротивление нагрузки, создает шумовую ЭДС.

При работе транзистора в динамическом режиме флуктуация коллекторного тока накладывается на переменную составляющую сигнала (рис. 6.17*б*). Если амплитуда сигнала мала, то он может «потонуть» в шумах.

Источниками дробового шума в передающей телевизионной камере служат флуктуации электронного считывающего луча передающей трубки, а также электронов вторичной эмиссии мишени, в цепях вторичного электронного умножителя, в нагрузочном сопротивлении и первом каскаде предварительного усилителя (см. рис. 6.16).

Степень мешающего воздействия шумов оценивается отношением мощности сигнала $P_с$ к мощности шумов $P_ш$. Чем это отношение выше, тем влияние шумов слабее и наоборот.

Следует иметь в виду, что каждый каскад усиливает не только полезный сигнал, но и шумы, а к шумам, поступившим на вход, добавляются шумы самого усилительного каскада. Таким образом, отношение $P_с/P_ш$ после каждого каскада ухудшается.

Наиболее опасными являются шумы первых усилительных каскадов, где амплитуда сигнала мала.

Для того чтобы успешно бороться с шумами, необходимо уметь оценить их количественно.

Так как флуктуация — это совокупность очень коротких импульсов тока (длительность импульса стремится к нулю), создаваемых отдельными электронами, и является результатом хаотического (нерегулярного) процесса, то каждый такой импульс можно рассматривать как одиночный, т. е. имеющий период повторения, стремящийся к бесконечности (а частота повторения к нулю). При длительности импульса $\tau_и$, стремящейся к нулю, активная ширина спектра стремится к бесконечности. Так как частота повторения импульсов стремится к нулю, то спектр такого импульса является сплошным непрерывным (рис. 6.17*г*). Однако любой усилитель пропускает ограниченную полосу частот и как бы «вырезает» из этого бесконечного спектра небольшую его часть. Чем шире полоса пропускания усилителя, тем больше суммарная мощность шумов на его выходе. Из формулы Найквиста следует, что мощность шумов пропорциональна не только ширине полосы пропускания, но и температуре «шумящего» сопротивления и может быть вычислена по формуле $P_ш=4kT\Pi$, где k — постоянная Больцмана, равная $1{,}38\cdot10^{-23}$ Дж/град; T — абсолютная температура «шумящего» сопротивления в градусах Кельвина; Π — ширина полосы пропускания в герцах.

Мощность шумов можно выразить через шумовую ЭДС и шумящее сопротивление: $P_ш=E^2_ш/R$, откуда $E_ш=\sqrt{P_ш R}=\sqrt{4kT\Pi R}$.

Для комнатной температуры ($T=20°\,C\approx300$ К) ЭДС, мкВ, $E_ш=0{,}125\sqrt{R\Pi}$, где R — в кОм; Π — в кГц.

При расчетах уровня шумов, создаваемых устройством, активные элементы (транзисторы, лампы) заменяются эквивалентным шумовым сопротивлением, пересчитанным во входную цепь данного элемента. Например, шумовое сопротивление биполярного транзистора $R_{ш\,ТБ}\approx20h_{21б}/_{Э}$, где Y_{21} — полная проводимость прямой передачи; $h_{21б}$ — коэффициент передачи тока.

Для полевого транзистора $R_ш \approx 0{,}7/g_{21}$, где g_{21} — активная составляющая полной проводимости.

Для оценки шумовых свойств радиотехнического устройства (усилитель, приемник) применяется коэффициент шума $K_ш$, который показывает, во сколько раз ухудшается отношение сигнал/шум при прохождении сигнала через данное устройство: $K_ш = (P_c/P_ш)_{вх} : (P_c/P_ш)_{вых}$.

Так как к входным шумам добавляются собственные (внутренние) шумы устройства, то коэффициент шума всегда больше единицы. Для идеального (нешумящего) усилителя $K_ш = 1$.

В заключение можно рекомендовать читателю просмотреть шумовые помехи на своем телевизоре:

после прекращения телевизионной передачи (диктор пожелал зрителям «спокойной ночи») на экране телевизора наблюдаются беспорядочные засветки, а в громкоговорителе слышны трески и шипение. Это результат совместного воздействия внешних помех, воздействующих на антенну, и внутренних шумов;

при выключении антенного разъема, экран становится значительно чище и в громкоговорителе слышны уже слабые шорохи — это результат воздействия только внутренних шумов.

Противошумовая коррекция видеоусилителей. С точки зрения воздействия шумовых помех, наиболее уязвимыми элементами телевизионного тракта являются предварительный усилитель передающей камеры и входные каскады телевизионного приемника (см. рис. 6.16).

Рассмотрим способы снижения уровня шумов в предварительных видеоусилителях передающих камер.

Внутреннее сопротивление передающих трубок R_i составляет несколько мегаом ($10^6 \div 10^7$ Ом), а сопротивление нагрузки $R_н$ — десятки — сотни килоом.

При условии, что $R_н \ll R_i$, можно считать передающую телевизионную трубку генератором тока, и тогда напряжение сигнала, выделяемое на сопротивлении нагрузки, будет пропорционально току сигнала.

Создаваемое нагрузочным сопротивлением трубки шумовое напряжение $U_ш = \sqrt{4kTR_н П}$. Отношение сигнал/шум на сопротивлении нагрузки будет пропорционально корню квадратному из сопротивления нагрузки:

$$\psi = \frac{U_c}{U_ш} = \frac{I_c R_н}{\sqrt{4kTR_н П}} = \frac{I_c \sqrt{R_н}}{\sqrt{4kTП}}.$$

Следовательно, чем больше сопротивления нагрузки $R_н$, тем выше отношение сигнал/шум.

Однако с повышением частоты начинает сказываться шунтирующее действие паразитной емкости $C_н$, которая складывается из выходной емкости самой трубки, емкости монтажа и входной емкости первой лампы (транзистора). В результате на высоких частотах коэффициент передачи входной цепи предварительного усилителя сигнала изображения падает, что ограничивает сопро-

тивление нагрузки $R_н$ и не позволяет тем самым существенно повысить отношение сигнал/шум на входе усилителя.

Советский ученый Г. В. Брауде в 1936 г. предложил выбирать сопротивление нагрузки $R_н$ как можно бóльшим, а влияние шунтирующего действия паразитной емкости компенсировать путем подъема частотной характеристики усилителя на высоких частотах. Этот способ получил название *противошумовой коррекции.*

В устройствах с простой противошумовой коррекцией (ПШК) подъем частотной характеристики создается либо путем использования частотнозависимого делителя (рис. 6.18*а*), либо использованием частотнозависимой отрицательной обратной связи (см. рис. 6.12).

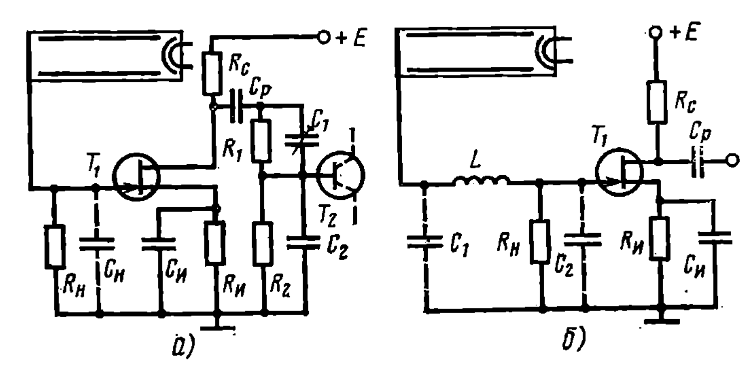


Рис. 6.18. Противошумовая коррекция усилителя:
а — схема простой противошумовой коррекции с частотнозависимым делителем в коллекторной цепи; *б* — сложная противошумовая коррекция

В схеме рис. 6.18*а* напряжение на базу второго транзистора снимается с частотнозависимого делителя. В области низких частот влиянием емкостей можно пренебречь и коэффициент деления определяется соотношением сопротивлений R_1 и R_2. В области высоких частот начинает сказываться влияние емкостей C_1 и C_2 и коэффициент деления увеличивается. Частотная характеристика делителя должна иметь форму, обратную частотной характеристике входной цепи. Условием коррекции является равенство $R_н C_н = R_1 C_1$. Для точной регулировки одна из емкостей (обычно C_1) делается переменной. Простая противошумовая коррекция позволяет получить пятикратное увеличение отношения сигнал/шум.

Кроме описанной схемы простой противошумовой коррекции, существует ряд схем сложной коррекции, основанной на применении корректирующих резонансных цепей (рис. 6.18*б*). Дополнительный выигрыш (в 2—2,5 раза по сравнению с простой схемой ПШК) дает применение ПШК со сложной коррекцией.

Для ослабления влияния собственного шума ламповых входных каскадов предварительных усилителей желательно использовать триоды. Однако триодные усилители, собранные по схеме с заземленным катодом, склонны к самовозбуждению (из-за значи-

тельной емкости сетка — анод). Триодные усилители, собранные по схеме с заземленной сеткой, имеют очень низкое входное сопротивление.

Поэтому широкое применение в предварительных усилителях получили входные усилители, собранные по так называемой *каскодной схеме* (рис. 6.19). Каскодной усилитель — это двухкас-

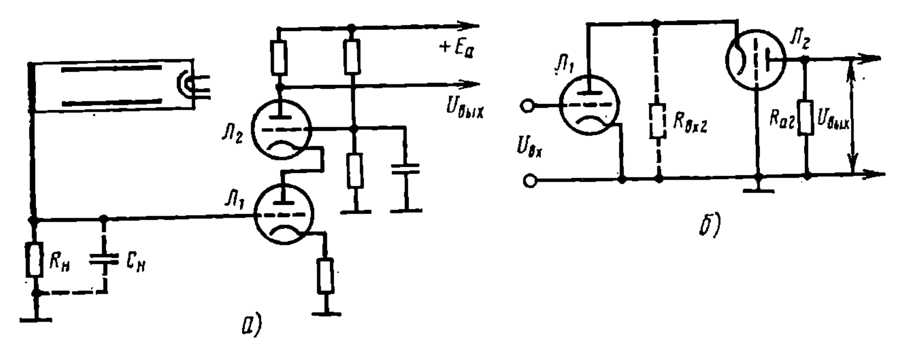


Рис. 6.19. Каскодная схема предварительного усилителя сигнала изображения: *а* — принципиальная схема; *б* — эквивалентная для переменной составляющей

кадный усилитель на триодах: первый каскад собран по схеме с заземленным катодом, а второй — с заземленной сеткой. Он обеспечивает минимальный уровень собственных шумов и работает достаточно устойчиво. Первый каскад нагружен на низкое входное сопротивление второго каскада, и поэтому общий коэффициент усиления по напряжению близок к единице. Назначение этого первого каскада — исключить влияние низкого входного сопротивления второго каскада на высокое нагрузочное сопротивление передающей трубки. Усиливает сигнал собственно второй каскад. Применение схемы «заземленная сетка» обеспечивает его устойчивую работу. Применение триодов дает низкий уровень собственных шумов. Общий коэффициент усиления каскодной схемы равен произведению крутизны первого триода на сопротивление нагрузки второго триода: $K_{общ}=S_1R_{н2}$.

По усилительным свойствам каскодный усилитель эквивалентен однокаскадному усилителю на пентоде с такой же крутизной характеристики, как и у триодов $Л_1$, $Л_2$, а по шумам значительно лучше пентодного усилителя.

Использование биполярных транзисторов, обладающих очень низким входным сопротивлением, даже в каскодной схеме не позволяют построить на них эффективно работающие усилители с ПШК. Поэтому в современной аппаратуре входные каскады собираются на полевых транзисторах, обладающих очень высоким входным сопротивлением.

6.9. Постоянная составляющая сигнала изображения

Потеря постоянной составляющей. Допустим, что передается изображение, состоящее из вертикальных черных и серых полос

(рис. 6.20). При такой передаче возникает сигнал изображения, частота которого определяется, во-первых, числом черных и серых полос и, во-вторых, параметрами развертки, т. е. числом строк Z и частотой смены кадров $f_{кадр}$:

$$f_c = 0{,}5mZf_{кадр}.$$

Сигнал изображения характеризуется еще средним значением или так называемой постоянной составляющей сигнала изображения. Выясним, от чего зависит постоянная составляющая сигнала изображения.

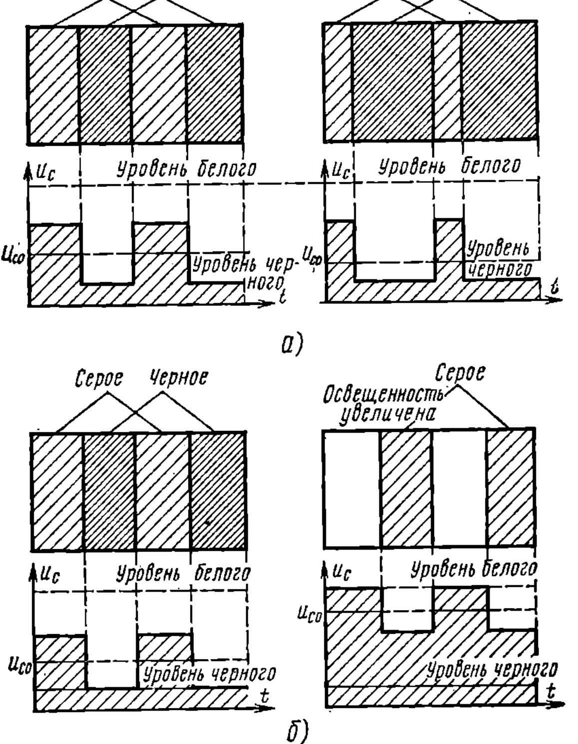


Рис. 6.20. Зависимость постоянной составляющей сигнала:
а — от характера изображения;
б — от освещенности объекта

Из рис 6.20*а* видно, что чем больше площадь светлых элементов объекта, тем постоянная составляющая u_{c0} выше, и наоборот.

Если освещенность объекта увеличить, то черные элементы станут серыми, а серые—белыми и постоянная составляющая возрастет (рис. 6.20*б*). Если освещенность ослабить, постоянная составляющая уменьшится.

Когда передается изображение неподвижных объектов при неизменной освещенности, постоянная составляющая сигнала изображения остается неизменной и равной среднему значению сигнала изображения за время, равное нескольким кадрам.

Но поскольку в реальных условиях изменяются и освещенность, и содержание передаваемого изображения, постоянная составляющая тоже изменяется. Причем, как правило, такие изменения происходят с очень низкой частотой — от нуля до 2—3 Гц, такие частоты носят название «нулевых».

Таким образом, сигнал изображения содержит следующие составляющие:

переменную, частота которой определяется количеством деталей изображения, а амплитуда — контрастом изображения, т. е. соотношением яркостей элементов изображения;

постоянную, которая зависит от средней освещенности объекта, содержания сцены и в процессе передачи очень медленно изменяется.

Для усиления телевизионных сигналов применяются усилители на сопротивлениях, содержащие в качестве элементов связи между каскадами переходные цепи из емкости и активного сопротивления.

Постоянная времени переходной цепи для пропуска «нулевых» частот должна быть огромной, а следовательно, переходный конденсатор должен обладать очень большой емкостью. Применение таких конденсаторов практически невозможно. Поэтому в усилителях сигналов изображения из-за малой постоянной времени переходных цепей происходит неизбежная потеря постоянной составляющей. Если бы не принималось специальных мер восстановления постоянной составляющей, то в изображении на экране яркость «черного» и «белого» не оставалась бы постоянной во все время передачи. Например, при телевизионной передаче кинофильма освещенность «дневных» и «ночных» сцен воспроизводилась бы неверно.

Неискаженную непосредственную передачу постоянной составляющей сигнала изображения можно осуществить, применяя схемы усилителей постоянного тока (без переходных емкостей). Однако применение усилителей постоянного тока связано с рядом трудностей. Поэтому в телевизионной технике нашли применение косвенные способы передачи постоянной составляющей сигнала изображения.

Восстановление постоянной составляющей. Как видно из рис. 6.21, у сигнала, потерявшего постоянную составляющую, верхушки синхронизирующих импульсов уже не находятся на одном

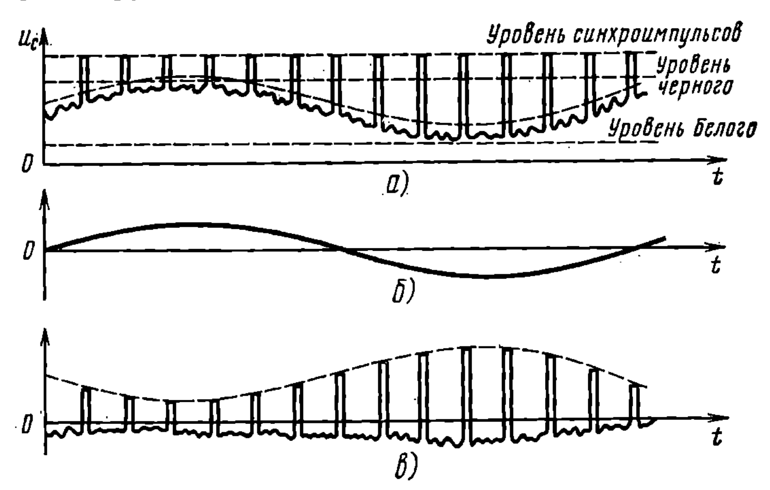


Рис. 6.21. Искажение сигнала изображения вследствие потери постоянной составляющей:
а — сигнал изображения; *б* — постоянная составляющая сигнала изображения; *в* — форма сигнала после потери постоянной составляющей (осталась только переменная составляющая сигнала (изображения)

уровне. Идея работы схем восстановления постоянной составляющей (ВПС) состоит в том, что сигнал изображения «привязывается» (фиксирует) к единому опорному уровню.

За единый опорный уровень принимается уровень вершин либо гасящих импульсов, либо синхронизирующих импульсов.

Существует две разновидности схем ВПС: неуправляемые и управляемые схемы.

На вход простейшей неуправляемой схемы ВПС (рис. 6.22*а*) поступает сигнал изображения в негативной полярности. До по-

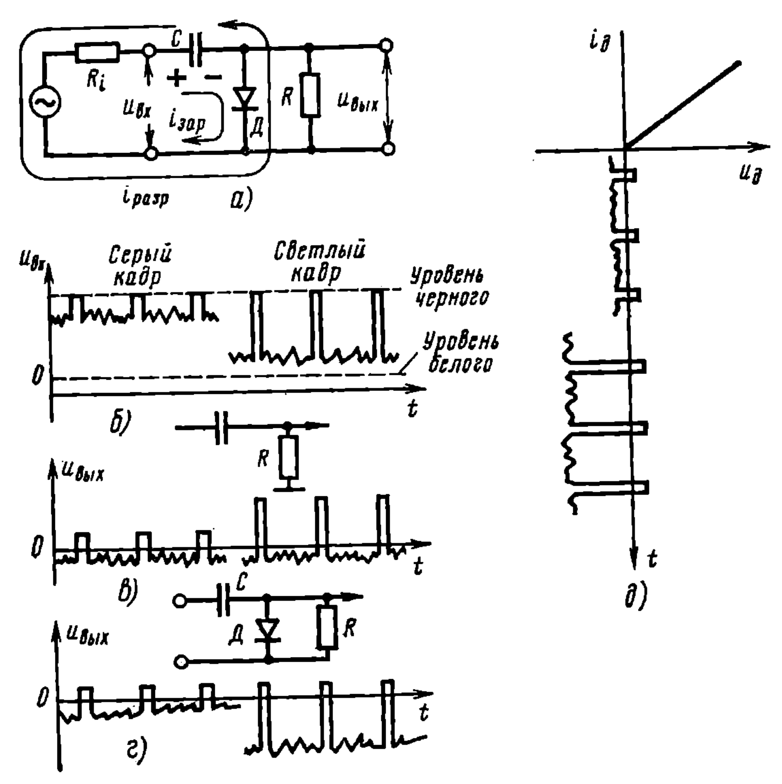


Рис. 6.22. Неуправляемая схема восстановления постоянной составляющей (для упрощения гасящие импульсы не показаны):
а — эквивалентная схема фиксации; *б* — форма сигнала на входе; *в* — форма сигнала на выходе *RC*-цепи (случай потери постоянной составляющей); *г* — форма сигнала на выходе схемы восстановления постоянной составляющей; *д* — временной график напряжения на характеристике фиксирующего диода

тери постоянной составляющей этот сигнал имел вид, показанный на рис. 6.22*б*, после потери — рис. 6.22*в*. После потери постоянной составляющей вершины синхроимпульсов в «сером» и «светлом» кадрах уже находятся на разных уровнях. Если такой сигнал подать на кинескоп, то оба кадра будут иметь примерно одинаковую яркость. Рассмотрим процесс восстановления постоянной составляющей.

Положительные входные сигналы (т. е. синхронизирующие им-

пульсы) через открытый диод быстро заряжают конденсатор C. Во время действия отрицательного напряжения запасенный на конденсаторе заряд смещает рабочую точку на характеристике диода влево и вершины синхроимпульсов оказываются на нулевом уровне.

При подаче на вход ВПС сигнала с большим размахом (более «светлый» кадр) конденсатор дозаряжается, смещение возрастет и вершины синхроимпульсов окажутся привязанными опять к нулевому уровню.

Недостатком этой простейшей схемы ВПС является то, что во время действия отрицательного напряжения конденсатор будет частично разряжаться через сопротивление R, рабочая точка на модуляционной характеристике кинескопа будет слегка перемещаться («сползать») влево и яркость изображения к концу каждой строки снизится. При переходе же к передаче кадра с меньшим размахом сигнала устройство ВПС будет входить в режим только спустя несколько строк, когда конденсатор разрядится до нового значения положительных импульсов.

Для уменьшения явления «сползания» рабочей точки, сопротивление следует увеличить, а для более быстрого вхождения устройства в режим при понижении размаха сигнала надо, наоборот, его уменьшить. Это противоречие и является недостатком неуправляемого устройства.

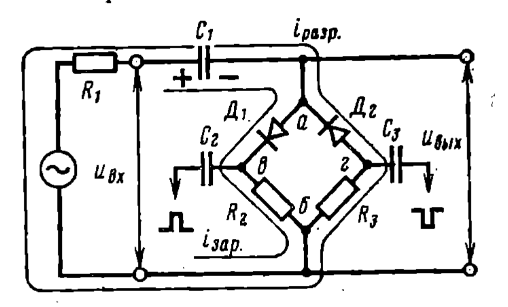


Рис. 6.23. Управляемая схема восстановления постоянной составляющей

На рис. 6.23 показана схема более совершенного управляемого устройства ВПС. Основой данной схемы служит мост, составленный из двух диодов — $Д_1$, $Д_2$ и двух резисторов — R_2 и R_3. Одной диагональю (точка *а* и *б*) мост включен параллельно выходу. Во вторую диагональ моста (точки *в* и *г*) включен источник разнополярных управляющих импульсов строчной частоты, получаемых со вторичной обмотки выходного строчного трансформатора (трансформатор на схеме не показан).

Импульсы отпирают одновременно оба диода. Если на вход поступает положительное напряжение, то разделительный конденсатор C_1 быстро заряжается через диод $Д_1$.

В интервалах между строчными синхроимпульсами, когда на вход подается отрицательное напряжение сигнала изображения, оба диода $Д_1$ и $Д_2$ закрыты и на конденсаторе сохраняется напряжение $U_{вх.макс}$.

Если на входе появляется сигнал с меньшим размахом, то разделительный конденсатор C_1 разряжается через диод $Д_2$. Таким образом, данное устройство реагирует на любые изменения формы сигнала изображения без задержки.

6.10. Коррекция нелинейных искажений (гамма-коррекция)

Характеристика передачи уровней яркости телевизионной системы (сквозная амплитудная характеристика) — это зависимость яркости телевизионного изображения на экране кинескопа от яркости объекта телевизионной передачи.

Для неискаженной передачи градаций яркости она должна быть линейна.

Реальная форма сквозной амплитудной характеристики телевизионной системы «от света до света» зависит от многих факторов:

формы световой характеристики телевизионной передающей трубки;

формы амплитудной характеристики всего телевизионного канала;

формы модуляционной характеристики кинескопа.

Амплитудная характеристика всех звеньев телевизионного канала может быть сделана практически линейной, поэтому форма сквозной амплитудной характеристики всей телевизионной системы в сущности определяется свойствами лишь передающей трубки (преобразование свет—сигнал) и кинескопа (преобразование сигнал — свет).

С достаточной степенью точности световую характеристику передающей трубки и модуляционную характеристику кинескопа можно аппроксимировать степенной (показательной) функцией, в которой показатель степени γ может быть как меньше, так и больше единицы. Показатель степени γ носит название *коэффициента контрастности.*

Как видно из рис. 6.24, у передающих трубок γ, как правило, меньше единицы (0,5—0,8), а для кинескопов γ больше единицы.

Таким образом, в телевизионной системе нелинейность характеристики кинескопа может компенсировать нелинейность характеристики передающей трубки.

На рис. 6.24*в* показано семейство сквозных амплитудных характеристик телевизионной системы (от света до света) для различных значений коэффициента контрастности. Шкала яркости по обеим осям условно разбита на три участка, соответствующие черному *Ч*, серому *С* и белому *Б*.

Характеристика, соответствующая значению $\gamma=1$, линейна, и на экране кинескопа воспроизводится точное соотношение яркостей всех элементов передаваемого объекта.

Характеристика, соответствующая случаю, когда $\gamma<1$, нелинейна; при этом черные элементы объекта передачи превращаются на экране кинескопа в серые, а серые — в белые. Изображение становится малоконтрастным (вялым).

Характеристика, соответствующая значению $\gamma>1$, также нелинейна, но в этом случае черным и серым элементам объекта соответствуют только черные элементы изображения на экране

кинескопа — изображение становится более контрастным и резким. Поэтому при регулировке черно-белой телевизионной системы, как правило, добиваются $\gamma>1$.

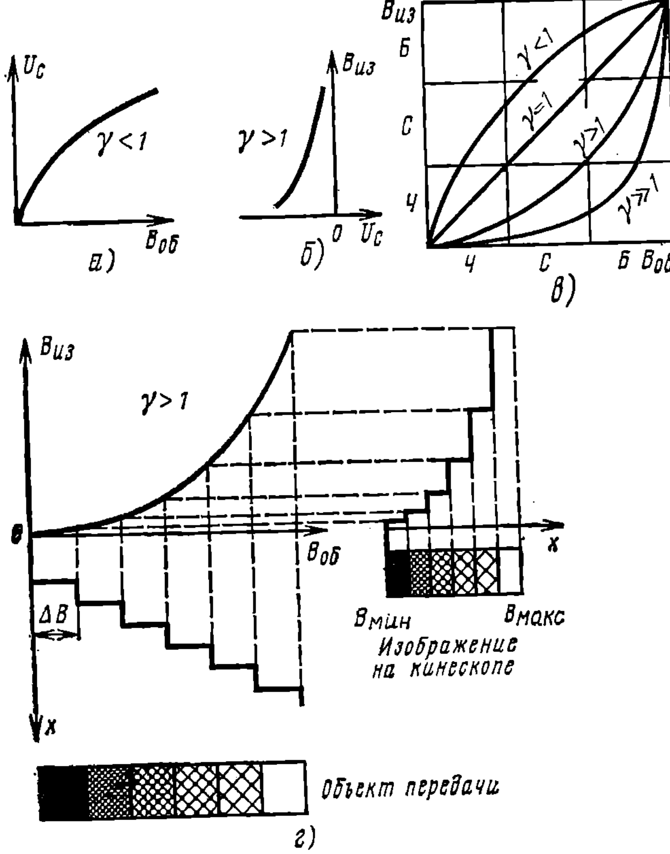


Рис. 6.24. Характеристики телевизионной системы:
а — световая характеристика передающей трубки; *б* — модуляционная характеристика кинескопа; *в* — сквозная амплитудная характеристика телевизионной системы «от света до света» для различных значений γ; *г* — искажение передачи градаций яркости при нелинейной сквозной амплитудной характеристике телевизионного тракта

При значениях $\gamma\gg1$ (характеристика) изображение на экране кинескопа становится очень темным (мрачным) и неразборчивым.

В цветном телевидении нарушение линейности сквозной амплитудной характеристики системы нарушает правильность воспроизведения цветовых оттенков и поэтому всегда добиваются $\gamma=1$.

На рис. 6.24*г* показано влияние нелинейности амплитудной характеристики телевизионной системы (случай $\gamma>1$) на передачу градаций яркости объекта передачи (ряда полос, яркость ко-

торых изменяется по ступенчатому закону, — так называемый *градационный клин*). Как видно из рисунка, в результате нелинейности световой характеристики приращение яркости соседних полосок на экране кинескопа перестает быть одинаковым: на темных участках приращение уменьшается, а на светлых увеличивается.

Качество телевизионного изображения наряду с другими показателями определяется числом воспроизводимых градаций яркости и тем, как эти градации распределены по диапазону изменения яркости.

Так как динамический диапазон изменения яркости изображения на экране кинескопа значительно ниже, чем у оригинала (объекта передачи), то и число воспроизводимых градаций яркости также оказывается значительно меньше.

Снизить нелинейное искажение телевизионного изображения можно путем умышленного введения в сигналы нелинейности для оптимального перераспределения числа воспроизводимых градаций по динамическому диапазону яркости. Для этого в тракт телевизионной системы включается специальное устройство — корректор полутоновых искажений (*гамма-корректор*).

Гамма-корректор представляет собой специальный усилитель с регулируемой формой амплитудной характеристики. Рассмотрим принцип его действия. Допустим, что на вход гамма-корректора поступает сигнал передаваемого изображения градационного клина, искаженный в тракте передачи (высота «ступенек» сигнала неодинакова) (рис. 6.25*а*). Путем регулировки формы ам-

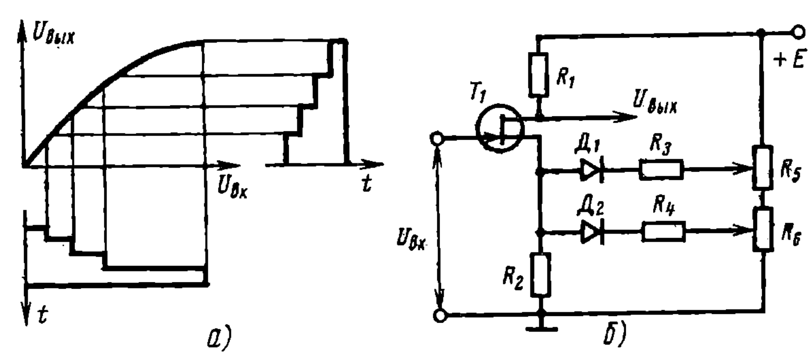


Рис. 6.25. Гамма-коррекция:
а — принцип действия гамма-коррекция; *б* — схема гамма-коррекция на полевом транзисторе

плитудной характеристики гамма-корректора можно добиться восстановления правильной формы сигнала, снимаемого с выхода гамма-корректора (высота «ступенек» оказывается уже одинаковой).

Существует много разновидностей схем гамма-корректоров.

Рассмотрим одну из наиболее распространенных схем на полевом транзисторе (рис. 6.25*б*).

Как известно, коэффициент усиления резистивного каскада на полевом транзисторе равен произведению динамической крутизны транзистора на сопротивление в цепи стока: $K=S_dR_c$. Но динамическая крутизна характеристики полевого транзистора в свою очередь зависит от статической крутизны транзистора и сопротивления в цепи истока $S_d=1/(1+SR_и)$.

Режим подбирается так, что при отсутствии сигнала на затворе транзистора оба диода были заперты.

При появлении сигнала на затворе и увеличении его уровня падение на истоковом сопротивлении R_2 начинает тоже расти. При достижении определенного значения сначала отпирается диод $Д_2$. Резистор R_2 оказывается зашунтированным сопротивлением последовательной цепи: диод $Д_2$, резистор R_4, делитель R_6. При этом общее сопротивление в цепи истока снижается, динамическая крутизна транзистора растет и коэффициент усиления каскада тоже увеличивается.

При дальнейшем повышении уровня сигнала на затворе падение напряжения на нагрузке в цепи истока тоже растет и при определенном его значении отпирается диод $Д_1$. При этом общее сопротивление в цепи истока еще больше снижается, а динамическая крутизна и коэффициент усиления каскада возрастают.

В результате амплитудная характеристика гамма-корректора становится нелинейной. Степень нелинейности можно регулировать, изменяя порог отпирания диодов $Д_1$ и $Д_2$ с помощью делителей R_5 и R_6.

6.11. Апертурные искажения и их коррекция

Апертурой в телевидении, как уже говорилось в гл. 1, называется сечение электронного луча передающей трубки или кинескопа. Искажения, связанные с конечными размерами сечения электронного луча, называются апертурными искажениями.

Причину появления апертурных искажений телевизионного сигнала, генерируемого передающей трубкой, можно пояснить с помощью рис. 6.26*а*. Пусть передаваемое изображение состоит из вертикальных полос различной ширины. При считывании такого изображения на нагрузке передающей трубки появляются искаженные прямоугольные импульсы, степень искажения которых зависит от соотношения ширины передаваемых полос и размеров апертуры. Если апертура мала (на рисунке диаметр точки со стрелкой условно соответствует размеру апертуры) и ширина всех полос больше размеров апертуры, то импульсы сигнала изображения имеют достаточно крутые фронты. При увеличении апертуры форма импульсов заметно искажается — фронты становятся пологими; особенно это заметно для полос, ширина которых равна апертуре, когда они приобретают синусоидальную форму. При дальнейшем увеличении апертуры широкие импульсы приобретают трапецеидальную форму, а амплитуда импульсов от самих узких полос значительно уменьшается.

Если продолжать увеличивать апертуру или уменьшать ширину вертикальных полос, то амплитуда импульсов будет уменьшаться и станет соизмеримой с шумами.

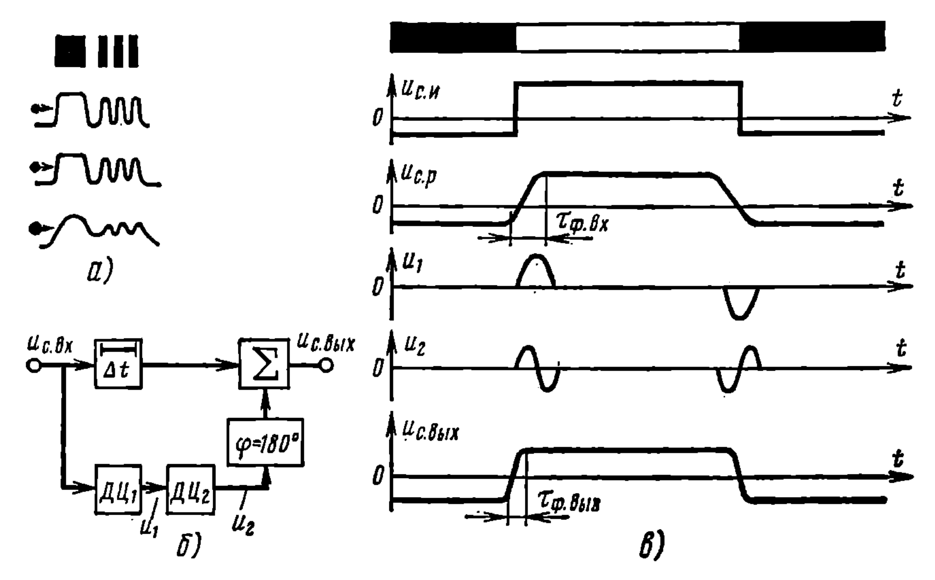


Рис. 6.26. Дифференциальная апертурная коррекция:
а — характер апертурных искажений в зависимости от диаметра апертуры (с увеличением диаметра апертуры амплитуда сигнала изображения снижается); *б* — структурная схема дифференциального апертурного корректора; *в* — временные графики напряжений в различных точках схемы апертурного корректора (сверху — передаваемое изображение) $u_{с.вых} = (u_{с.вх} - u_2)$

Таким образом, апертурные искажения телевизионного сигнала вызывают снижение четкости, появление зоны размытости на черно-белых границах, снижение контрастности и полную потерю информации о мелких деталях передаваемого объекта.

Апертурные искажения телевизионного сигнала аналогичны частотным искажениям, которые вносит усилитель сигнала изображения с плавным спадом усиления в области верхних частот и линейной фазовой характеристикой, так как апертурные искажения не сопровождаются фазовыми сдвигами. Величина апертурных искажений, создаваемых электронно-лучевыми трубками, зависит от соотношения между размерами экрана (мишени) и апертурой. Поэтому апертурные искажения наиболее заметны в телевизионных передающих трубках с малыми размерами мишени.

Коррекция апертурных искажений осуществляется путем введения в усилительный тракт специального корректирующего звена, обладающего частотной характеристикой, обратной по форме апертурной характеристике передающей трубки, и линейной фазовой характеристикой. Существует несколько схем апертурной коррекции, из которых рассмотрим схему дифференциальной

апертурной коррекции, предложенную советским ученым Г. В. Брауде в 1952 г.

Сущность этого способа апертурной коррекции заключается в том, что с помощью дифференцирующих цепей из искаженного сигнала формируется специальный корректирующий сигнал, который затем суммируется с исходным сигналом (рис. 6.26*в*). Форма корректирующего сигнала должна быть такой, чтобы в результате сложения с исходным сигналом увеличивалась крутизна фронтов и в результате повышалась четкость изображения.

Поскольку в результате действия апертурного корректора происходит подъем усиления на верхних частотах, возрастает уровень шумов и отношение сигнал/шум ухудшается. Поэтому апертурные корректоры необходимо сочетать с устройствами противошумовой коррекции.

Глава 7

Системы цветного телевидения

7.1. Классификация совместимых систем цветного телевидения

В гл. 1 были сформулированы основные требования к совместимой системе цветного телевидения.

Для удовлетворения этих требований ученым и инженерам пришлось решить целый ряд сложных задач, главными из которых следующие:

найти наиболее оптимальный способ уплотнения спектра сигнала яркости, который принимает обычный телевизор черно-белого изображения, дополнительной информацией о цвете;

обеспечить отсутствие помех на экране черно-белого телевизора при приеме цветной телевизионной программы.

По способу уплотнения спектра сигнала яркости дополнительной информацией все действующие ныне совместимые системы цветного телевидения разделяются на два класса:

система с квадратурной модуляцией поднесущей (американская система NTSC и ее разновидность — система PAL);

последовательно-одновременная советско-французская система СЕКАМ.

Исторически первой совместимой системой, принятой как стандарт для телевизионного вещания и получившей широкое практическое применение, была система NTSC.

Некоторые из основных принципов этой системы легли в основу построения других совместимых систем цветного телевидения, созданных позднее. Поэтому методически изучение совместимых систем цветного телевидения целесообразно начать с системы NTSC.

7.2. Совместимая система цветного телевидения NTSC

Особенности системы NTSC. Система была разработана Национальным комитетом по телевизионным системам (National Television System Commitee), и с 1954 г. Федеральная комиссия связи США (FCC) ввела ее в эксплуатацию как стандартную. Затем система NTSC была принята как стандартная в Японии, Канаде и ряде других стран американского континента.

В основе построения системы NTSC лежат следующие принципы:

телевизионный передатчик излучает в эфир высокочастотный сигнал, промодулированный по амплитуде полным цветовым телевизионным сигналом;

полный цветовой телевизионный сигнал $e_п$ представляет собой совокупность сигнала яркости и замешанных в него сигналов, несущих информацию о цвете, а также сигналов для синхронизации генераторов развертки в телевизоре;

сигнал яркости E_Y по своим параметрам соответствует стандартному сигналу черно-белого телевидения, что обеспечивает возможность приема цветных программ на любом черно-белом телевизоре:

для передачи информации о цвете вместо трех первичных сигналов — E_R, E_G и E_B — используются два цветоразностных сигнала — E_{R-Y} и E_{B-Y};

цветоразностные сигналы передаются внутри спектра сигнала яркости на цветной поднесущей, частота которой выбирается равной нечетной гармонике половины частоты строк, что обеспечивает «переплетение спектров» сигнала яркости и цветности;

для того чтобы при модуляции поднесущей боковые частоты не выходили за пределы спектра сигнала яркости, спектры цветоразностных сигналов E_{R-Y} и E_{B-Y} ограничиваются;

для одновременной и независимой передачи двух цветоразностных сигналов на одной поднесущей используется метод квадратурной модуляции;

для устранения (ослабления) помех на экранах черно-белых телевизоров, которые может создать цветовая поднесущая в виде мелкоструктурной сетки, используется метод балансной модуляции, подавляющей на выходе модулятора колебания поднесущей;

приемник цветного изображения системы NTSC, кроме блоков, входящих в обычный черно-белый телевизор, содержит специальный блок цветности и трехцветный кинескоп с системой управления;

при приеме черно-белых программ работает только канал сигнала яркости цветного телевизора и на экране цветного кинескопа воспроизводится черно-белое изображение;

при приеме цветных программ работают каналы яркости и блок цветности, в котором из полного цветового телевизионного сигнала выделяются цветоразностные сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y}. С помощью специальной пересчетной матрицы формируется третий

цветоразностный сигнал — E_{G-Y}. Все три первичных сигнала — E_R, E_G и E_B — восстанавливаются в кинескопе;

для раздельного преобразования промодулированной поднесущей частоты в два цветоразностных сигнала — E_{R-Y} и E_{B-Y} — в блоке цветности используются синхронные детекторы, работающие совместно с местным гетеродином поднесущей частоты;

для обеспечения синхронной и синфазной работы генератора цветовой поднесущей в полный цветовой телевизионный сигнал замешивается сигнал цветовой синхронизации в виде пакетов высокочастотных колебаний (цветовые вспышки), которые передаются на задних площадках строчных гасящих импульсов.

Рассмотрим подробнее все эти принципы и приведем их техническое обоснование.

Цветоразностные сигналы и их формирование. Как было сказано, в системе NTSC, а также во всех остальных действующих совместимых системах цветного телевидения используются цветоразностные сигналы, что позволяет сократить число передаваемых информаций с четырех до трех.

Трехтрубочная цветная передающая камера (ПК, рис. 7.1) генерирует три первичных сигнала, несущие информацию о содер-

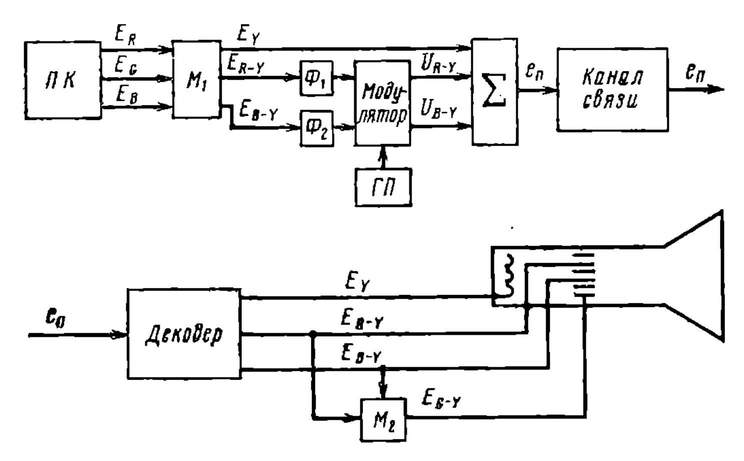


Рис. 7.1. Упрощенная структурная схема совместимой системы цветного телевидения с использованием цветоразностных сигналов

жании в передаваемом изображении трех основных цветов: красного E_R, зеленого E_G и синего E_B. Эти три сигнала после гамма-корректоров (на рисунке для упрощения не показаны) поступают в пересчетную матрицу M_1, на выходах которой формируются три сигнала: яркостный E_Y и два цветоразностных — E_{R-Y} и E_{B-Y}. Цветоразностные сигналы проходят через фильтры низких частот $Ф_1$ и $Ф_2$, которые ограничивают спектр этих сигналов в области верхних частот. Далее цветоразностные сигналы поступают в модулятор и модулируют колебания генератора (генераторов) поднесущей частоты.

На выходах модулятора формируются два модулированных сигнала — U_{R-Y} и U_{B-Y} (сигналы цветности), которые замешиваются в яркостный сигнал E_Y и образуют полный цветовой телевизионный сигнал $e_п$.

После прохождения по каналу связи сигнал $e_п$ поступает в декодирующее устройство, в котором из полного цветового телевизионного сигнала $e_п$ выделяются сначала два сигнала цветности U_{R-Y} и U_{B-Y}, а затем с помощью синхронных детекторов эти сигналы преобразуются в цветоразностные сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y}.

Для восстановления третьего цветоразностного сигнала — E_{G-Y} — используется пересчетная матрица M_2.

Яркостный сигнал E_Y обычно подается на катоды прожекторов, а цветоразностные сигналы на модуляторы трехцветного кинескопа. Окончательное декодирование, т. е. восстановление трех исходных сигналов — E_R, E_G и E_B, происходит в самом кинескопе.

У читателя естественно может возникнуть вопрос — зачем сигналы трех основных цветов — E_R, E_G, E_B — заменяются цветоразностными сигналами?

Исследование статистических свойств цветных телевизионных изображений показало, что в них бóльшую долю занимают неокрашенные или слабо окрашенные (с малой насыщенностью) места. Если при этом передавать сигналы основных цветов E_R и E_B, то на белых участках эти сигналы будут иметь максимальное значение $E'_R=E'_B=E'_Y$.

Передача больших по размаху цветных составляющих создавала бы недопустимо большие помехи при приеме цветных передач на экранах черно-белых телевизоров.

Для снижения мешающего действия сигналов цветности на изображения, принимаемые на экранах черно-белых телевизоров, вместо сигналов E'_R и E'_B было решено передавать цветоразностные сигналы E'_{R-Y} и E'_{B-Y}, так как на белых и серых участках изображений, где $E'_R=E'_B=E'_Y$, цветоразностные сигналы равны нулю.

Кодирующие матрицы. Матрицей в цветном телевидении называется устройство, выполняющее операции сложения или вычитания электрических напряжений[1]. На рис. 7.2*а* изображена матрица для сложения двух входных напряжений.

Пассивная матрица представляет собой совокупность нескольких делителей напряжения, которые имеют общее выходное сопротивление — резистор $R_{вых}$. При достаточно больших сопротивлениях $R_{вх1}$ и $R_{вх2}$ по сравнению с $R_{вых}$ входные сигналы слабо влияют друг на друга.

Напряжение на выходе делителя $R_{вх1}$, $R_{вых}$ равно входному напряжению, умноженному на коэффициент деления делителя, т. е. на отношение $R_{вых}/R_{вх}R_{вых}/(R_{вх1}+R_{вых}) \approx R_{вых}/R_{вх1}$. Тогда $U_{вых1}=U_{вх1}R_{вых}/R_{вх1}$; $U_{вых2}=U_{вх2}R_{вых}/R_{вх2}$.

[1] Строго говоря, вычитание возможно только в активной матрице, которая в своем составе имеет фазоинверторы. Пассивная матрица может обеспечить только операцию сложения.

Суммарное выходное напряжение $U_{вых}=U_{вых1}+U_{вых2}=$ $=K_1U_{вх1}+K_2U_{вх2}$, где $K_1=R_{вых}/R_{вх1}$, $K_2=R_{вых}/R_{вх2}$.

Подбирая сопротивления резисторов, входящих в матрицу, можно обеспечить сложение напряжений в необходимой пропорции. При выполнении операции вычитания в цепь того сигнала,

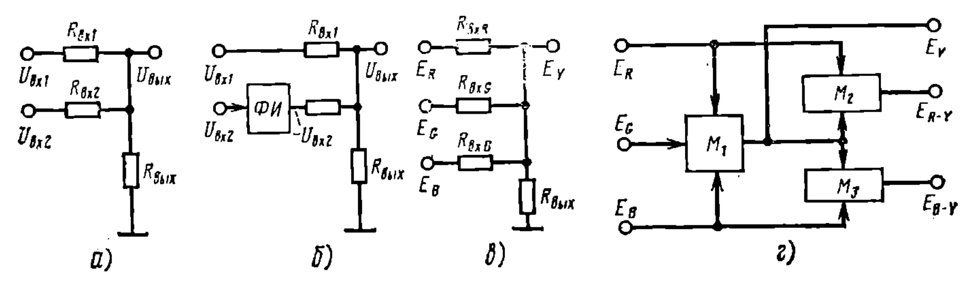


Рис. 7.2. Кодирующие матрицы (пересчетные схемы):
а — суммирующая матрица; *б* — матрица, выполняющая операцию вычитания; *в* — суммирующая матрица для формирования яркостного сигнала *Y*; *г* — структурная схема кодирующего устройства (матрицы) для формирования двух цветоразностных сигналов *R—Y* и *B—Y* и яркостного сигнала *Y*

который надо вычитать, включается фазоинверсный каскад. Так, для матрицы, изображенной на рис. 7.2*б*, $U_{вых}\approx K_1U_{вх1}-K_2U_{вх2}$.

Для формирования сигнала яркости E_Y применяется матрица с тремя входами (рис. 7.2*в*) и $E_Y=K_RE_R+K_GE_G+K_BE_B$. При выборе коэффициентов деления K_R, K_G и K_B необходимо исходить из свойств зрения — неодинаковой чувствительности глаза к световым лучам различной длины волны (см. рис. 1.2).

Установлены следующие значения коэффициентов деления, которые обеспечивают наиболее естественную передачу яркости белого цвета C[1]: $K_R=0{,}30$, $K_G=0{,}59$ и $K_B=0{,}11$. Тогда уравнение сигнала яркости принимает вид: $E_Y=0{,}30E_R+0{,}59E_G+0{,}11E_B$. Напряжения сигналов основных цветов на входе матрицы (или на выходах усилителей сигнала изображения) при проецировании на фотокатоды передающих трубок черно-белого изображения (белого C) должны быть равны между собой, т. е. $E_R=E_G=E_B$.

Структурная схема кодирующего устройства матрицы показана на рис. 7.2*г*.

Ограничение полосы частот для передачи цветоразностных сигналов. Известно, что глаз человека плохо различает цвета мелких деталей и воспринимает их как черно-белые. Хуже всего воспринимаются зрением мелкие синие детали. Несколько лучше воспринимаются мелкие красные детали. Различимость мелких зеленых деталей наибольшая.

Это обстоятельство позволяет ограничить ширину спектра сигналов цветности для красных и синих лучей, для чего применяются фильтры нижних частот. Включать эти фильтры сразу на выходе передающей камеры нельзя, так как при этом произойдет

[1] Белый цвет С, соответствующий цветовой температуре 6500 К.

потеря информации о мелких деталях в сигнале яркости E_Y. Фильтры обычно включают на выходе матриц, образующих цветоразностные сигналы.

Ограничение полосы частот цветоразностных сигналов облегчает задачу уплотнения спектра сигнала яркости. Возникает вопрос, не понизит ли ограничение полосы частот цветоразностных сигналов четкость цветного изображения? Этого не происходит, так как при формировании сигнала яркости E_Y используются сигналы основных цветов с полной шириной спектра. Следовательно, все мелкие цветные (красные и синие) детали передаются в черно-белых тонах. Для сравнения укажем, что в цветной полиграфии крупные детали печатаются в естественных красках, а мелкие — черно-белыми. Такой способ печати обеспечивает четкость изображения и не нарушает его естественности.

Метод квадратурной модуляции. Сущность метода состоит в том, что колебания поднесущей частоты, подводимые к модуляторам каналов $R—Y$ и $B—Y$, сдвинуты на 90°, т. е. находятся в «квадратуре» (рис. 7.3). Напряжения, получаемые на выходах модуляторов $R—Y$ и $B—Y$, складываются и образуют результирующие сигнал цветности $U_р$.

Полный цветовой сигнал в системах с квадратурной модуляцией состоит из сигналов яркости и цветности. Сигнал яркости за-

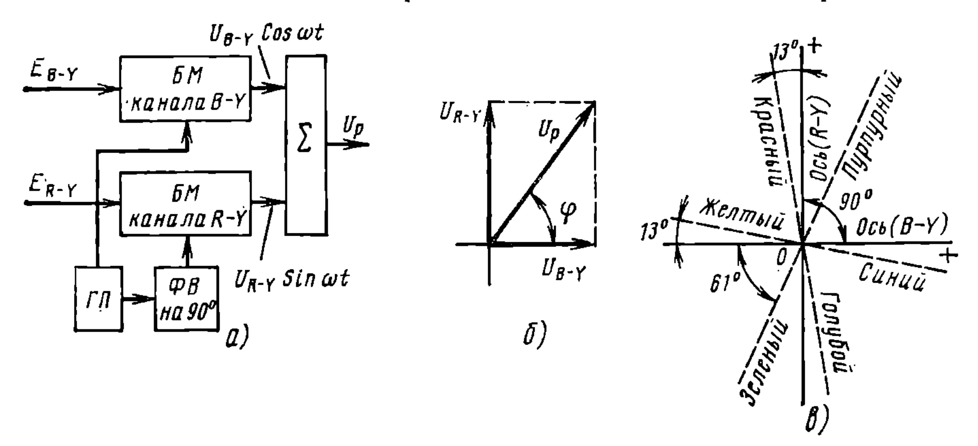


Рис. 7.3. Принцип формирования сигнала цветности в системе NTSC:
а — структурная схема (*ГП* — генератор поднесущей; *БМ* — балансный модулятор, *ФВ* — фазовращатель); *б* — векторная диаграмма; *в* — цветовая диаграмма

нимает всю полосу частот, отводимую для черно-белого телевидения. Сигнал цветности занимает более узкую полосу частот и передается внутри спектра сигнала яркости.

Метод квадратурной модуляции для радиосвязи и радиовещания был разработан советскими учеными А. А. Пистолькорсом, Е. Г. Момотом и В. И. Сифоровым еще в 1935—1941 гг. Квадратурный модулятор состоит из двух балансных модуляторов, напряжение поднесущей к которым подводится с фазовым сдвигом 90° (т. е. в «квадратуре»).

Рассмотрим упрощенную схему балансного модулятора на диодах (рис. 7.4*а*). При отсутствии модулирующего сигнала мост сбалансирован и напряжения на выходе нет. При подаче модулирующего сигнала на выходе появляется модулированное напря-

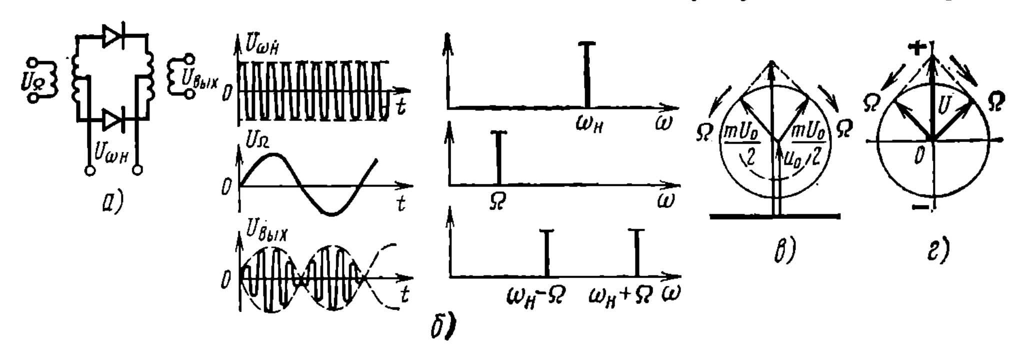


Рис. 7.4. Принцип балансной модуляции на диодах:
а — принципиальная схема; *б* — временны́е графики напряжений и их спектры; *в*, *г* — векторные диаграммы

жение, спектр которого содержит только боковые частоты модуляции (боковые полосы), а сама поднесущая оказывается подавленной.

Следует обратить внимание на то, что форма огибающей напряжения на выходе балансного модулятора не соответствует форме модулирующего сигнала (рис. 7.3*б*). Следовательно, для демодуляции такого сигнала обычные детекторы не пригодны — необходимы специальные с восстановлением поднесущей частоты.

Для лучшего понимания последующего материала необходимо напомнить о векторном представлении амплитудно-модулированного напряжения (см. рис. 7.4*в*). Мгновенное значение модулированного по амплитуде напряжения равно геометрической сумме векторов напряжения несущей U_0 и двух боковых составляющих $mU_0/2$ (m — коэффициент глубины модуляции), векторы которых вращаются в противоположных направлениях с угловой частотой Ω. При балансной модуляции несущая подавлена и результирующий вектор $\mathbf{U}_р$ при переходе через нулевое значение меняет свою фазу на 180° (рис. 7.4*г*).

Сигналы U_{R-Y} и U_{B-Y} на выходе балансных модуляторов (см. рис. 7.3*б*) сдвинуты по фазе на 90° относительно друг друга. В результате сложения этих сигналов на выходе смесителя появляется результирующий сигнал цветности $U_р$, несущий информацию о цвете передаваемого изображения. Сигналы U_{R-Y} и U_{B-Y} в зависимости от характера передаваемого цветного изображения могут иметь как положительную, так и отрицательную полярность, и результирующий вектор $\mathbf{U}_р$ может находиться в любом из квадрантов. При этом длина вектора $\mathbf{U}_р$ (его модуль) характеризует насыщенность цвета, а его фазовый угол φ — цветовой тон, т. е. соотношение между компонентами R, G и B. Поясним это на примере.

Допустим, что в данный момент передается информация о красном элементе изображения. Тогда сигналы $E'_G=0$ и $E'_B=0$. Имея в виду, что $E_Y=0{,}59E'_G+0{,}30E'_R+0{,}11E'_B$, можно вычислить значения цветоразностных сигналов. Сигнал $E_Y=0{,}30E'_R$, а цветоразностные сигналы $E'_{R-Y}=0{,}70E'_R$ и $E_{B-Y}=-0{,}30E'_R$. Вектор результирующего сигнала равен геометрической сумме этих векторов: $\mathbf{E}_р=\sqrt{(\mathbf{E}^2_{R-Y})^2+(\mathbf{E}^2_{B-Y})^2}=\mathbf{E}_R\sqrt{0{,}7^2+0{,}3^2}=0{,}76E_R$.

Фазовый угол

$$\varphi=\mathrm{arctg}(E'_{R-Y}/E'_{B-Y})=\mathrm{arctg}(0{,}7\,E_R/-0{,}3\,E_R)\approx 113^\circ.$$

Аналогично можно рассчитать параметры результирующих векторов для любого цвета и построить цветовую диаграмму в полярных координатах (см. рис. 7.3*в*).

В процессе передачи цветного изображения непрерывно изменяются длина результирующего вектора $\mathbf{U}_р$ в зависимости от насыщенности передаваемых цветов и положение вектора в зависимости от передаваемого в данный момент цветового тона, т. е. в процессе квадратурной модуляции осуществляется амплитудно-фазовая модуляция поднесущей частоты. Результирующий сигнал цветности $U_р$ замешивается в сигнал яркости и образует полный цветовой телевизионный сигнал, который и передается по радиоканалу.

Обратим внимание на очень существенный недостаток системы с квадратурной модуляцией — нарушение фазового сдвига в процессе передачи сигналов цветного телевидения неизбежно приводит к искажению передаваемых цветов.

Синхронные детекторы. В приемниках системы NTSC для выделения цветоразностных сигналов используются синхронные детекторы.

Синхронный детектор может быть собран на многосеточной преобразовательной лампе (рис. 7.5*а*), на сигнальную сетку которой поступает полный телевизионный сигнал, подлежащий преобразованию, а на защитную сетку — напряжение от гетеродина $U_{поднес}$.

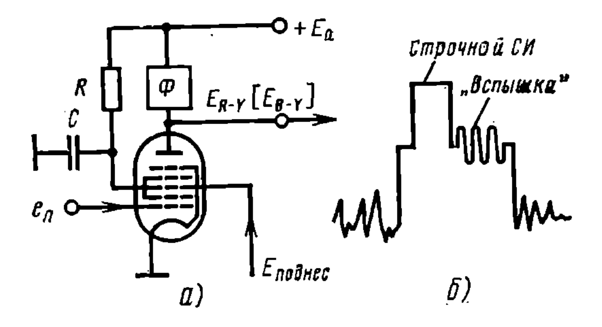


Рис. 7.5. Синхронное детектирование:
а — упрощенная схема синхронного детектора; *б* — форма синхронизирующего сигнала

Амплитуда выходного сигнала пропорциональна косинусу угла сдвига фаз между детектируемым сигналом и напряжением гетеродина.

Таким образом, синхронный детектор обеспечивает фазовую избирательность, и его можно использовать для разделения двух составляющих, сдвинутых по фазе на 90°. Для этой цели в приемнике NTSC к синхронным детекторам напряжение от гетеродина подводится со сдвигом фаз на 90°.

Полосовой фильтр на входе детекторов (рис. 7.6*б*) служит для «вырезания» из спектра полного цветового телевизионного сигна-

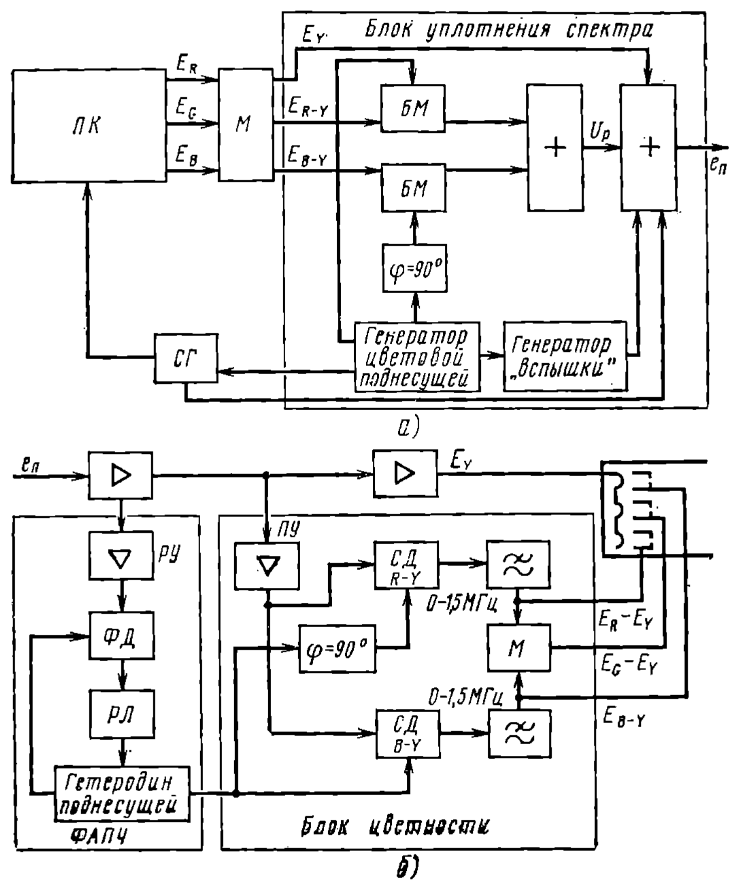


Рис. 7.6. Упрощенная структурная схема системы цветного телевидения:
а — передающая часть; *б* — приемная часть (*ПУ* и *РУ* — усилители полосовой и резонансной *СД*, *ФД* — детекторы синхронный и фазовый, *ФАПЧ* — фазовая автоподстройка частоты)

ла только той полосы частот, в которой содержатся сигналы цветности U_{R-Y} и U_{B-Y}. Для устойчивой работы синхронного детектора и неискаженной передачи цветов необходима точная синхронизация гетеродина не только по частоте, но и по фазе. Для этого в системе NTSC в полный цветовой телевизионный сигнал замешивается «пакет» колебаний поднесущей частоты (часто называемый цветовой вспышкой и составляющий 8—10 колебаний), кото-

рый располагается на задней площадке строчного гасящего импульса (рис. 7.5б).

Блок автоматической подстройки частоты и фазы (ФАПЧ) цветного телевизора NTSC содержит резонансный усилитель для выделения цветовой вспышки, фазовый детектор (дискриминатор) и реактивную лампу.

В момент прихода цветовой вспышки происходит сравнение фаз колебаний гетеродина и вспышки и в случае их расхождения вырабатывается сигнал ошибки, который поступает на реактивную лампу. В зависимости от знака и уровня сигнала ошибки происходит подстройка гетеродина.

Выбор поднесущей частоты в системе. В системе с квадратурной модуляцией для уплотнения спектра сигнала яркости спектром сигнала цветности используется метод переплетения спектров, т. е. гармонические составляющие спектра сигнала цветности располагаются в свободных промежутках спектра сигнала яркости (рис. 7.7).

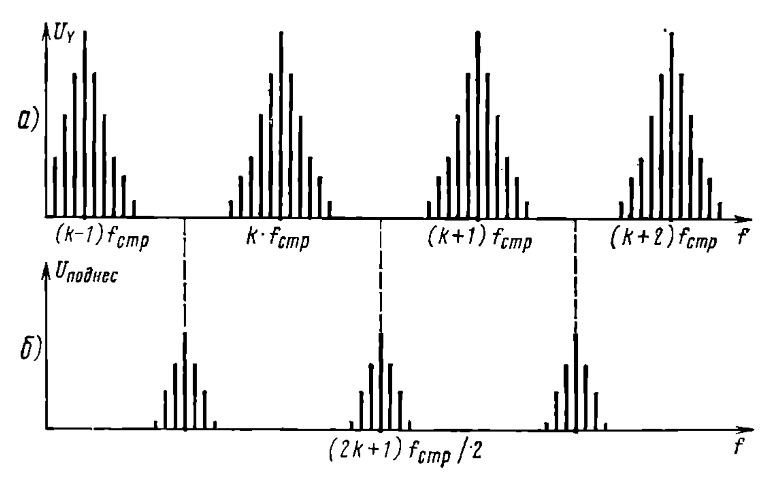


Рис. 7.7. «Переплетение» спектров сигнала: *а* — яркостного; *б* — сигнала цветности

Очевидно, что гармоники строчной частоты сигнала цветности должны быть сдвинуты относительно гармоник строчной частоты сигнала яркости на половину строчной частоты. Тогда частота поднесущей должна быть равна нечетной гармонике половины частоты строк: $f_{поднес}=0{,}5f_z(2k+1)$, где k — целое число. Такой метод выбора частоты поднесущей носит название принципа *переплетения спектров.*

Этот принцип обеспечивает ослабление влияния поднесущей сигнала цветности на качество изображения на экранах черно-белых телевизоров при приеме цветных программ.

Дело в том, что из-за неизбежной асимметрии в балансных модуляторах полного подавления поднесущей не происходит. Напряжение поднесущей, частота которой лежит в пределах спектра

сигнала яркости, вызывает модуляцию тока луча кинескопа, и на каждой строке появляются чередующиеся светлые и темные точки. Между гармоникой частоты строчной разверткой и поднесущей имеется полустрочной сдвиг, поэтому на экране кинескопа должна возникнуть правильная шахматная структура из светлых и темных точек. Но так как при чересстрочной развертке число строк в кадре нечетное, то фаза поднесущей частоты от кадра к кадру изменяется на 180°, при этом светлым точкам в данном кадре будут соответствовать темные в следующем кадре и наоборот.

Из-за инерционности зрения различия яркости этих точек в смежных кадрах усредняются, т. е. происходит автоматическая компенсация помех от поднесущей частоты. Но так как модуляционная характеристика кинескопа нелинейна (положительные и отрицательные полуволны модулирующего напряжения вызывают неодинаковые по амплитуде изменения тока луча кинескопа), полной компенсации не происходит и на экране кинескопа наблюдается характерная «сетка». Заметность сетки тем меньше, чем тоньше ее структура, т. е. чем выше частота поднесущей. Следовательно, для лучшей совместимости с черно-белым телевидением частота поднесущей должна выбираться как можно выше.

Однако при повышении частоты поднесущей приходится ограничивать ширину боковых полос сигнала цветности, что приводит к ухудшению качества цветного изображения. Кроме того, нельзя брать частоту поднесущей очень близкой к несущей звукового сопровождения, так как между ними могут возникнуть биения. Чем больше разнос между несущими частотами изображения и звука, тем частота поднесущей может быть выбрана более высокой, и, следовательно, совместимость будет лучшей. Частота поднесущей выбирается в результате поиска компромисса между требованием совместимости и качеством цветного изображения. Конкретный выбор поднесущей частоты зависит от параметров развертки и разноса между несущими изображения и звука.

Структурная схема системы. На передающей части системы (см. рис. 7.6*а*) опорным будет генератор цветовой поднесущей. Синхрогенератор жестко «привязан» по частоте и фазе к генератору поднесущей.

В блоке уплотнения спектра имеется два балансных модулятора (каналов $R—Y$ и $B—Y$), напряжение поднесущей к которым подводится в «квадратуре».

Генератор «цветовых вспышек» представляет собой ключевое устройство, которое «вырезает» из напряжения поднесущей частоты короткие пакеты высокочастотных колебаний (8—10 периодов).

Сигнал яркости E_Y, сигнал цветности $U_р$, смесь синхроимпульсов и «цветовые вспышки» поступают в общий смеситель и образуют полный цветовой телевизионный сигнал $e_п$.

На рис. 7.6*б* показана низкочастотная часть телевизора системы NTSC, которую можно разделить на три отдельных канала: яркостный канал; канал сигнала цветности; канал автоматической подстройки частоты и фазы генератора поднесущих колебаний.

Канал синхронизации развертки и блок разверток на этой схеме также не показаны.

Первым каскадом блока ФАПЧ является высокоизбирательный резонансный усилитель, который настроен на частоту поднесущих колебаний.

На фазовый детектор поступают полный цветовой телевизионный сигнал $e_п$ и колебания местного генератора поднесущей. При уходе частоты и фазы местного генератора фазовый детектор вырабатывает сигнал ошибки, который через реактивную лампу управляет частотой генератора.

На входе канала сигнала цветности имеется полосовой усилитель, который «вырезает» из спектра полного цветового телевизионного сигнала полосу, содержащую боковые частоты сигнала цветности.

Напряжение с выхода полосового усилителя поступает на входы синхронных детекторов каналов $R—Y$ и $B—Y$. Напряжение поднесущей от местного генератора подается в «квадратуре» к синхронным детекторам. На выходе синхронных детекторов включены фильтры нижних частот, которые устраняют высокочастотные помехи. С помощью декодирующей матрицы формируется цветоразностный сигнал E_{G-Y}. Все три цветоразностных сигнала подаются на управляющие электроды прожекторов цветного кинескопа, а яркостный сигнал — на их катоды. Таким образом, восстановление всех трех исходных сигналов — E_R, E_G и E_B — происходит путем матрицирования в самом кинескопе.

Система NTSC при правильной регулировке как передающей, так и приемной аппаратуры обеспечивает высокое качество цветного изображения и хорошую совместимость с черно-белым телевидением. Система NTSC обладает высокой помехоустойчивостью. Но поскольку в ней используется амплитудно-фазовая модуляция поднесущей сигналом цветности, любое нарушение фазы передаваемого сигнала приводит к искажению цветового тона воспроизводимого изображения. Заметные искажения цветового тона возникают при сдвиге фаз, превышающем 5°. Поэтому система NTSC предъявляет достаточно жесткие требования к фазо-частотным и амплитудно-частотным характеристикам всех звеньев телевизионного тракта.

Цветоразностные сигналы E'_I и E'_Q. Неискаженная и независимая передача двух сигналов методом квадратурной модуляции возможна при обеспечении «квадратуры», т. е. фазового сдвига между сигналами, равного 90°.

Однако, если разнос частот между несущими изображения и звука небольшой (например, всего 5,5 МГц), а частота поднесущей выбрана высокой, происходит частичное подавление верхних боковых частот модуляции сигналов цветности.

При амплитудной модуляции ослабление одного из боковых колебаний приводит к повороту вектора АМ колебания (см. рис. 7.3*в*). Следовательно, подавление верхних боковых частот сигнала цветности приведет к отклонению вектора этого сигнала от

своей оси, кроме того, такой вектор будет иметь составляющую $O—A$, совпадающую с осью другого сигнала цветности (рис. 7.8*а*).

В результате сигнал цветности U_{B-Y} будет проникать в канал $B—Y$, а сигнал U_{B-Y} — в канал $R—Y$. Возникнут перекрестно-квадратурные искажения.

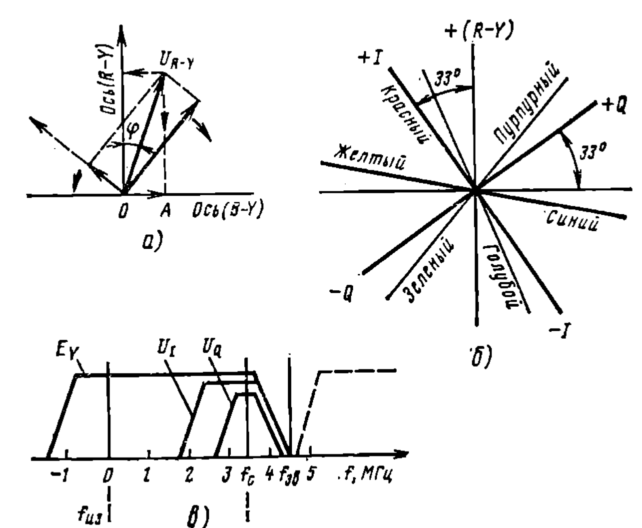


Рис. 7.8. Переход к цветной диаграмме с осями I и Q:
а — появление «квадратурных» искажений; *б* — цветовая диаграмма с осями; *в* — размещение спектров сигналов I и Q внутри сигнала Y

В результате экспериментов было установлено, что перекрестные квадратурные искажения можно ослабить, если частично подавлять верхнюю боковую полосу только одного сигнала цветности. Но для этого цветоразностные сигналы должны быть «разнополосными». Вот почему разработчики системы NTSC заменили сигналы U_{R-Y} и U_{B-Y} цветоразностными сигналами U_I и U_Q:

$$U'_I = 0{,}74(U'_R - U'_Y) - 0{,}27(U'_B - U'_Y);$$
$$U'_Q = 0{,}48(U'_R - U_Y) - 0{,}41\,(U_B - U_Y).$$

Использование сигналов U_I и U_Q приводит к повороту осей на векторной диаграмме цветов на 33° (рис. 7.8*б*). При этом ось сигнала U_I соответствует сине-зеленым и оранжевым тонам, а ось сигнала U_Q — желто-зеленым и пурпурным тонам.

Такой выбор новых осей основан на свойстве зрения. Как показали исследования, по мере уменьшения размеров деталей изображения происходит обесцвечивание мелких деталей (они становятся серыми; сначала исчезают синие цвета, затем желтые, потом красные и, наконец, сине-зеленые).

В системе NTSC сигнал U_Q передается с двумя боковыми полосами по 0,6 МГц, а сигнал U_I с нижней боковой полосой в 1,3 МГц и частично подавленной (до 0,6 МГц) верхней (рис. 7.8*в*). Более широкая полоса частот для передачи сигнала U'_I обеспечивает передачу мелких деталей, имеющих сине-зеленые и оранжевые оттенки, которые сохраняют свою окраску при меньших размерах.

Использование сигналов U_I и U_Q позволило выбрать более вы-

сокое значение поднесущей, равное 3,58 МГц, и сократить полосу сигнала цветности, что улучшило совместимость системы.

Однако использование сигналов U_I и U_Q (вместо U'_{R-Y} и U'_{B-Y}) требует некоторого усложнения аппаратуры.

При использовании системы с квадратурной модуляцией в странах, имеющих другие стандарты (с большим разносом частот несущих изображения и звука), применение сигналов U_I и U_Q не обязательно.

7.3. Совместимая система цветного телевидения PAL

Система PAL (Phase Alternation Line — периодическое изменение фазы по строкам) является разновидностью системы с квадратурной модуляцией поднесущей и была разработана в 1962—1966 гг. фирмой «Телефункен» (ФРГ) под руководством В. Бруха.

Основным отличием системы PAL от системы NTSC является то, что фаза поднесущей одной из квадратурных составляющих сигнала цветности U_{R-Y} изменяется от строки к строке на 180°. Поворот фазы поднесущей сигнала U_{B-Y} приводит к зеркальному (относительно оси сигнала U_{R-Y}) повороту осей цветовой диаграммы.

Допустим, что в результате неравномерностей фазовой характеристики канала связи вектор сигнала цветности $\mathbf{U}_1$ отстал на угол $\Delta\varphi$ (рис. 7.9*а*). Это неизбежно приведет к тому, что цветовой

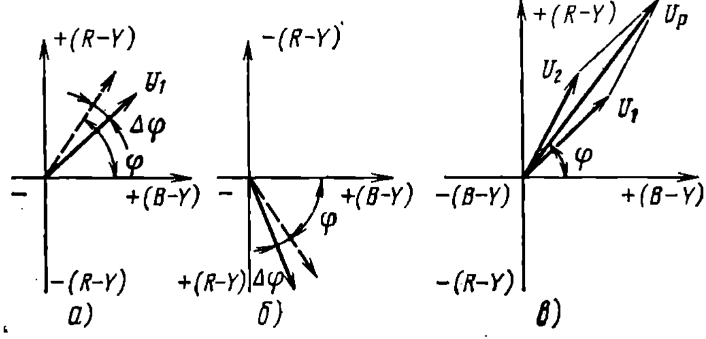


Рис. 7.9. Компенсация фазовых искажений в системе PAL для момента передачи элементов изображения, имеющих пурпурный цвет

тон передаваемого элемента изображения на экране цветного телевизора станет синеватым. При передаче следующей строки (рис. 7.9*б*) отставание вектора сигнала цветности вызовет покраснение цвета передаваемого элемента.

В цветном телевизоре системы PAL сигнал от первой строки задерживается на время длительности строки (64 мкс). С помощью инвертора фаза поднесущей восстанавливается, и оба сигнала суммируются (рис. 7.9*в*). В результате происходит компенсация фазовых сдвигов.

Но так как при появлении фазовых сдвигов происходит изменение длины результирующего вектора $U_р$, неизбежно возникают искажения цветовой насыщенности передаваемого изображения и полной компенсации искажения цвета не получается. Следует подчеркнуть, что искажения насыщенности менее опасны, чем искажение тока.

Следует добавить, что существует несколько вариантов построения декодирующих устройств системы PAL, одни из них показаны на рис. 7.10. С этими устройствами читатель может познакомиться в [7.4].

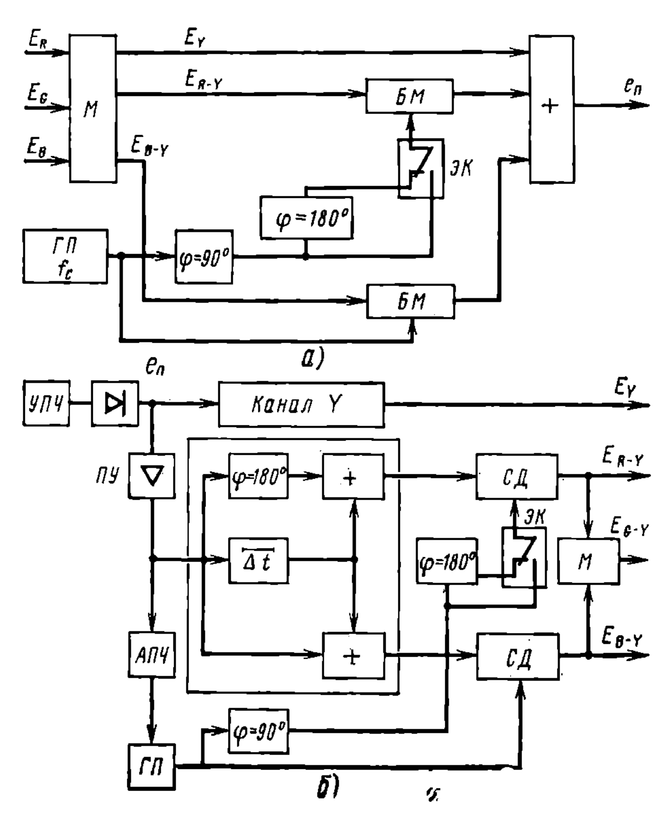


Рис. 7.10. Упрощенная структурная схема системы PAL:
а — кодирующее устройство; *б* — декодирующее устройство (*ЭК* — электронный коммутатор; остальные изображения см. на рис. 7.6)

7.4. Совместимая система цветного телевидения СЕКАМ

Особенности системы СЕКАМ. В основе системы СЕКАМ лежит принцип поочередной передачи через строку цветоразностных сигналов E_{R-Y} и E_{B-Y}, предложенный французским изобретателем Анри де Франсом в 1958 г. Название СЕКАМ происходит от французского слова SECAM, которое расшифровывается так — Sequence de Coulenrs Avec Memoire, что означает: последователь-

ная передача цветов с запоминающим устройством. Система СЕКАМ является последовательно-одновременной системой цветного телевидения, так как преобразование цветного изображения в три первичных сигнала — E_R, E_G и E_B — происходит одновременно, а передача по линии связи двух цветоразностных сигналов — поочередно: в течение одной строки передается сигнал E_{R-Y}, а в течение другой строки сигнал E_{B-Y}. Сигнал яркости передается непрерывно на каждой строке.

Для воспроизведения цветного изображения в приемном устройстве необходимо иметь все три сигнала (сигнал яркости и два цветоразностных сигнала E_{R-Y} и E_{B-Y}) одновременно. Поэтому в цветном телевизоре системы СЕКАМ применяются запоминающее устройство (в виде линии задержки на время одной строки, т. е. 64 мкс) и двухканальный электронный коммутатор (работающий синхронно и синфазно с коммутатором передающего устройства), которые и обеспечивают наличие в приемнике в каждый момент времени обоих цветоразностных сигналов — E_{R-Y} и E_{B-Y}.

Другой особенностью системы СЕКАМ, по сравнению с системами NTSC и PAL, является отказ от амплитудно-фазовой модуляции поднесущей, применение которой делает систему цветного телевидения весьма чувствительной к фазовым искажениям в телевизионном тракте. В системе SECAM используется частотная модуляция цветовой поднесущей.

Недостатком системы СЕКАМ по сравнению с системами NTSC и PAL является некоторая потеря цветовой четкости по вертикали, вызванная тем, что цветоразнотные сигналы передаются не одновременно, а через один, а также меньшая помехоустойчивость. Но практически хорошо отрегулирована аппаратура систе-

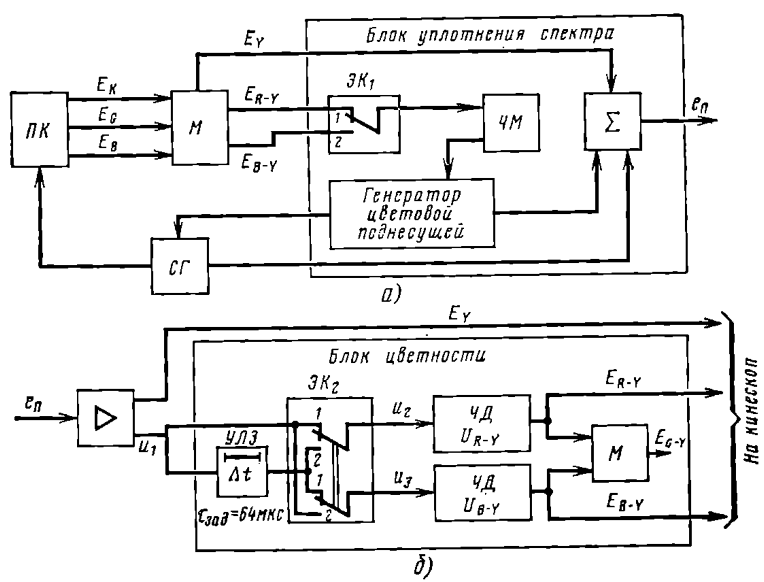


Рис. 7.11. Упрощенная структурная схема системы СЕКАМ:
а — передающая часть; *б* — приемная часть

мы SECAM (рис. 7.11) обеспечивает цветное изображение высокого качества.

Коммутатор $ЭК_1$ поочередно (через строку) подключает частотный модулятор к выходам кодирующей матрицы: в течение одной строки поступает сигнал E_{R-Y}, в течение другой строки — E_{B-Y}. Цветовая поднесущая, промодулированная цветоразностными сигналами, поступает в смеситель, где суммируется с сигналом яркости. Таким образом, на выходе смесителя формируется полный цветовой телевизионный сигнал.

В телевизионном приемнике необходимо иметь одновременно оба цветоразностных сигнала. Эту задачу выполняет запоминающее устройство, состоящее из ультразвуковой линии задержки *УЛЗ* (на время длительности одной строки, т. е. на 64 мкс) и двухканального электронного коммутатора $ЭК_2$. Первый вход коммутатора $ЭК_2$ соединен с выходом видеоусилителя непосредственно, а в цепь второго входа коммутатора $ЭК_2$ включена линия задержки *УЛЗ*. Если на первый (прямой) вход поступает сигнал U_{R-Y}, то на второй (задержанный) вход будет поступать сигнал U_{B-Y}. Принцип работы запоминающего устройства поясняется с помощью табл. 7.1.

Таблица 7.1

Номера строк	1	2	3	4	5
Положение коммутаторов	1	2	1	2	1
Напряжения:					
U_1	$R-Y$	$B-Y$	$R-Y$	$B-Y$	$R-Y$
U_2	$R-Y$	$R-Y$	$R-Y$	$R-Y$	$R-Y$
U_3	$B-Y$	$B-Y$	$B-Y$	$B-Y$	$B-Y$

Электронные коммутаторы приемного и передающего устройств должны работать не только синхронно, но и синфазно[1], т. е. положение *1* коммутатора $ЭК_2$ должно в любой момент времени соответствовать положению *1* коммутатора $ЭК_1$ на передающей станции. При этом условии на вход частотного детектора канала $R—Y$ всегда будут поступать только цветоразностные сигналы U_{R-Y}, а на вход детектора канала $B—Y$ — цветоразностные сигналы U_{B-Y}.

После детектирования на выходах частотных детекторов выделяются цветоразностные сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y}. Третий цветоразностный сигнал — E_{G-Y} — формируется с помощью декодирующей матрицы M_3.

Структурная схема рис. 7.11 является упрощенной и служит только для пояснения принципа работы системы СЕКАМ.

[1] При достаточном удалении телевизора от телецентра выражение «синфазно» не совсем точно, так как необходимо учитывать время запаздывания сигнала.

Реальная структурная схема системы СЕКАМ содержит целый ряд элементов, не указанных на рис. 7.11, а именно:

систему цветовой синхронизации, которая обеспечивает синфазную работу электронных коммутаторов;

генераторы коммутирующих импульсов для управления электронными коммутаторами;

блоки для улучшения совместимости и повышения помехоустойчивости системы при передаче цветовых сигналов.

Цветовая синхронизация в системе. Назначение цветовой синхронизации — обеспечить синхронную и синфазную работу электронных коммутаторов в каналах цветности передающего и приемных устройств таким образом, чтобы сигналы U_{R-Y} и U_{B-Y} всегда попадали в соответствующие каналы. Для обеспечения цветовой синхронизации в передающем устройстве формируется сигнал опознавания цвета, который замешивается в полный сигнал цветного телевидения. В цветном телевизоре имеется устройство опознавания цвета, который управляет работой генератора коммутирующих импульсов.

Сигнал опознавания цвета представляет собой пакеты колебаний поднесущей частоты, промодулированные по частоте сигналом специальной формы (рис. 7.12*а*). Как видно из рисунка, сиг-

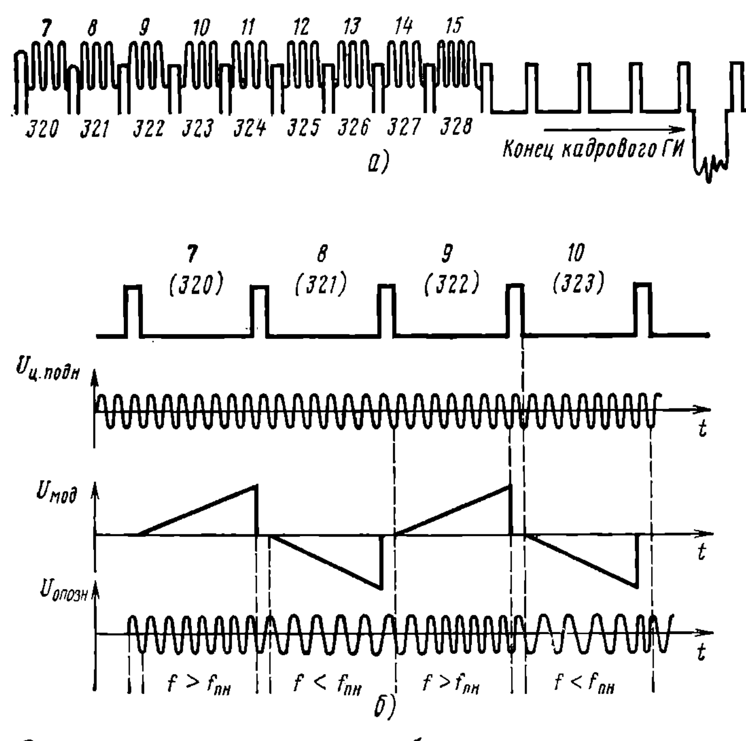


Рис. 7.12. Сигнал опознавания цвета и его образование:
а — сигнал опознавания цвета, замешанный в кадровый импульс синхронизации (7—15 — номера строк четных кадров, 320—328 — нечетных); *б* — образование сигнала опознавания цвета

нал опознавания цвета представляет собой пакеты ЧМ колебаний, частота которых в интервале одной строки нарастает, а в течение другой убывает по линейному закону (рис. 7.12*б*). Сигналы опознавания цвета передаются во время каждого кадрового гасящего импульса в интервалах девяти строк: для четных полукадров строки 7—15 и для нечетных 320—328.

Работа устройства опознавания цвета телевизора основана на принципе сравнения полярности продетектированных импульсов опознавания цвета с импульсами кадровой развертки телевизора. При нарушении полярности импульсов опознавания блок опознавания цвета телевизора выдает импульс, изменяющий фазу электронного коммутатора на 180°.

Выбор поднесущей частоты в системе и обеспечение совместимости. Поскольку в системе СЕКАМ для передачи цветоразностных сигналов на поднесущей используется частотная модуляция, разработчикам пришлось по-иному, чем в системе NTSC, решать вопросы о совместимости.

Так как при частотной модуляции происходит непрерывное качание поднесущей частоты и непрерывное изменение ее фазы, метод переплетения спектров (полустрочной сдвиг частоты поднесущей) не применим. Поднесущая в системе СЕКАМ создает на экранах черно-белых телевизоров при приеме цветных программ беспорядочный точечный узор, проявляющийся как помеха.

Экспериментальные работы по изысканию способов уменьшения видности колебаний поднесущей частоты на экранах черно-белых телевизоров показали, что, хотя фаза поднесущей вдоль строки непрерывно изменяется, регулярная (т. е. по определенному закону) коммутация фазы поднесущей по строкам и по полям позволяет значительно уменьшить видность поднесущей.

Многочисленные испытания показали, что наилучшие результаты дает поворот фазы модулированной поднесущей на 180° перед началом каждого поля и на каждой третьей строке. Частота поднесущей при этом должна быть кратна частоте строк.

Для улучшения отношения сигнал/шум цветоразностные сигналы в принятом для вещания варианте системы СЕКАМ передаются поочередно на двух (рис. 7.13) отличающихся между собой по частоте поднесущих:

сигнал U_{B-Y} на частоте $f_{B0}=272f_{стр}=4{,}25$ МГц;

сигнал U_{R-Y} на частоте $f_{R0}=282f_{стр}=4{,}406$ МГц.

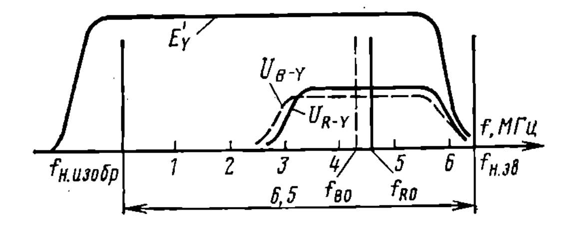


Рис. 7.13. Размещение спектров цветоразностных сигналов внутри спектра яркостного сигнала

Повышение помехоустойчивости. Как известно, помехоустойчивость приема частотно-модулированных колебаний тем выше, чем выше индекс частотной модуляции (больше глубина частотной модуляции).

В системе СЕКАМ девиация частоты $\Delta f = 280$ кГц (для «красной» строки), а наивысшая модулирующая частота $F_{\text{макс}} = 1{,}4$ МГц. При этом индекс частотной модуляции значительно меньше единицы: $m_f = \Delta f / F_{\text{макс}} = 0{,}28$ МГц/1,4 МГц$=0{,}20$.

При таком малом значении индекса частотной модуляции помехоустойчивость системы СЕКАМ оказывается значительно ниже, чем систем с балансной модуляцией (системы NTSC и PAL). Увеличить индекс частотной модуляции в системе СЕКАМ за счет увеличения девиации частоты Δf нельзя, так как это приведет к значительному расширению полосы частот, занимаемой цветоразностными сигналами в полосе частот сигнала яркости.

Для того чтобы повысить помехоустойчивость системы СЕКАМ, на передающей станции включаются специальные цепи частотных предыскажений (предкоррекция), а в приемниках — коррекции этих преднамеренно внесенных искажений. Как известно, напряжение низкой частоты на выходе частотного детектора прямо пропорционально девиации частоты принимаемого сигнала, т. е. разности между частотой сигнала и частотой покоя $f_c - f_0$. Частота покоя — это номинальная частота цветовой поднесущей.

Напряжение от высокочастотной помехи на выходе частотного детектора также будет зависеть от разности частот помехи $f_{\text{пом}}$ и f_0. Если частота помехи равна центральной частоте f_0, то такая помеха вызывает только амплитудную модуляцию частотно-модулированного сигнала, которая устраняется амплитудным ограничителем. При отличии частоты помехи от центральной частоты возникает паразитная частотная модуляция, которая пропорциональна разности частот $f_{\text{пом}}$ и f_0, при этом спектр напряжения помехи на выходе частотного детектора имеет треугольную форму (рис. 7.14*а*).

Как известно, спектр шумов, воздействующих на радиоканал, имеет непрерывный характер. Но воздействие его компонентов при приеме частотно-модулированных колебаний различно. Наиболее сильно сказываются составляющие спектра шумов, расположенные в области крайних боковых составляющих спектра радиосигнала.

Ослабить влияние помех (шумов) на качество цветного изображения можно двумя путями: ограничивая полосу пропускания по высокой частоте (до частотного детектора) или включая на выход частотного детектора фильтр, ослабляющий высшие частоты детектируемого сигнала.

Разработчики системы СЕКАМ использовали оба эти способа: в цветном телевизоре до частотного детектора включается резонансный фильтр с колоколообразной частотной характеристикой[1],

[1] По-французски колокол — «cloche», и поэтому иногда употребляется термин «клешфильтр».

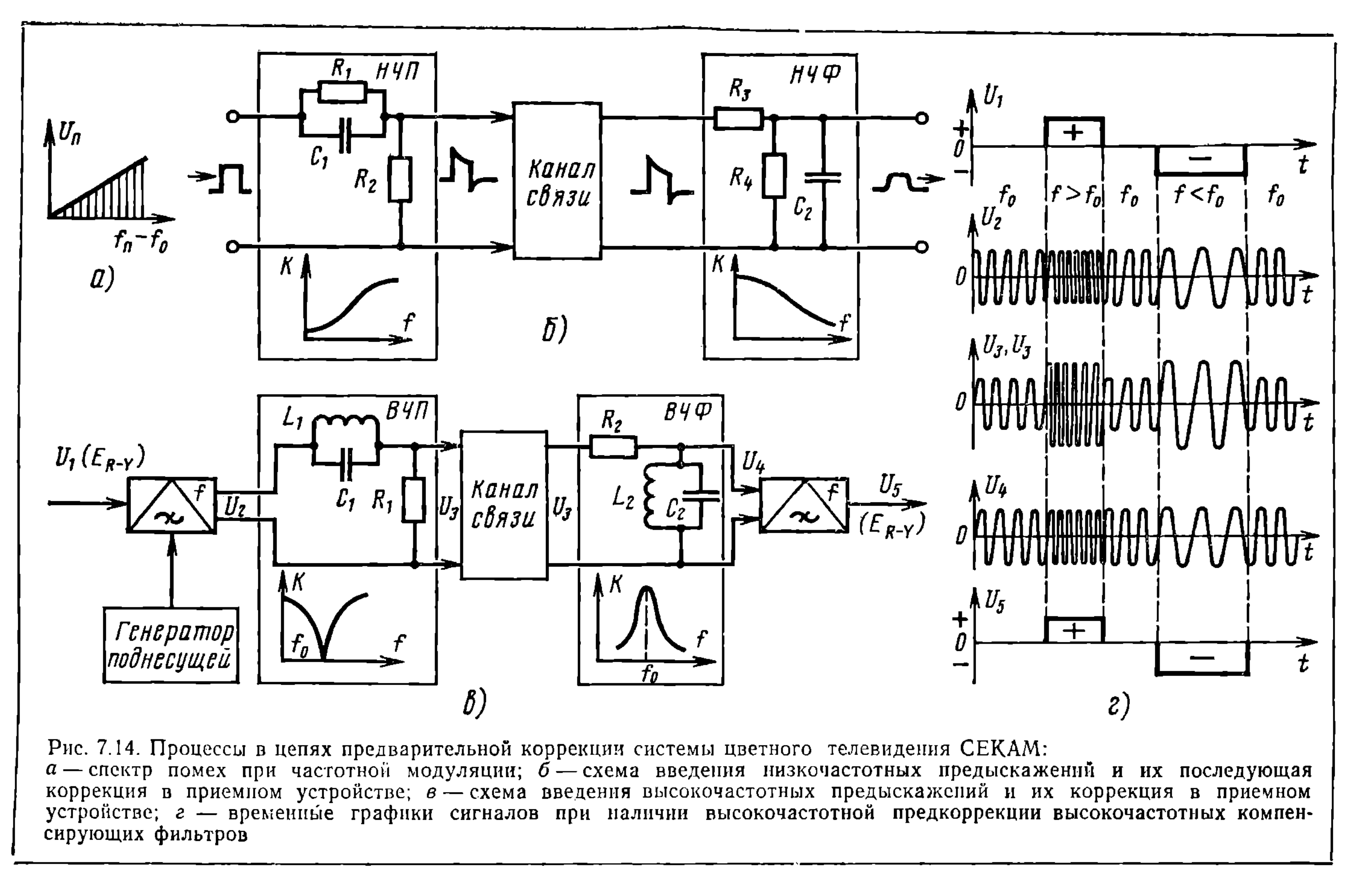


Рис. 7.14. Процессы в цепях предварительной коррекции системы цветного телевидения СЕКАМ:
а — спектр помех при частотной модуляции; *б* — схема введения низкочастотных предыскажений и их последующая коррекция в приемном устройстве; *в* — схема введения высокочастотных предыскажений и их коррекция в приемном устройстве; *г* — временные графики сигналов при наличии высокочастотной предкоррекции высокочастотных компенсирующих фильтров

а на выходе каждого из частотных детекторов включается усилитель сигнала изображения, имеющий падающую амплитудно-частотную характеристику.

Для того чтобы скомпенсировать влияние этих фильтров и сохранить правильное соотношение между составляющими спектров цветоразностных сигналов, в кодирующее устройство системы СЕКАМ на передающей станции включаются специальные цепи предыскажений (предкоррекции):

фильтр низкочастотных предыскажений, поднимающий амплитуду верхних составляющих спектра цветоразностных сигналов (до частотного модулятора);

фильтр высокочастотных предыскажений цветовых поднесущих, имеющий частотную характеристику в виде перевернутого колокола[1], поднимающий амплитуду боковых составляющих спектра частотно-модулированных цветовых поднесущих.

Кроме того, высокочастотные предыскажения уменьшают заметность поднесущей на экранах черно-белых телевизоров, так как колебания поднесущей на частотах, близких к 4,25 и 4,406 МГц, частично подавляются.

На рис. 7.14*б* поясняются работа фильтра низкочастотных предыскажений в кодирующем устройстве и коррекция предыскажений в декодирующем устройстве. Для низких частот сопротивление конденсатора C_1 очень велико и коэффициент передачи фильтра низкочастотных предыскажений определяется соотношением сопротивлений R_1 и $R_{стр}$, образующих делитель напряжения.

На высоких частотах сопротивление конденсатора снижается, он шунтирует резистор R_1 и коэффициент передачи возрастает. Из-за предыскажений в начале импульса возникает положительный всплеск, а по окончании — отрицательный. В декодирующем устройстве фильтр коррекции низкочастотных предыскажений сглаживает эти всплески. Для низких частот сопротивление конденсатора C_2 этого фильтра велико и коэффициент передачи определяется соотношением сопротивлений R_3 и R_4. На высоких частотах сопротивление конденсатора C_2 падает, он шунтирует выходной резистор R_4, а коэффициент передачи также падает.

На рис. 7.14*в* показана упрощенная схема фильтра высокочастотных предыскажений. Для примера на вход фильтра поступает частотно-модулированный сигнал, который формируется в результате модуляции поднесущих колебаний прямоугольными импульсами различной полярности $U_{мод}$.

В интервалах между импульсами частота равна f_0. При воздействии положительного импульса она возрастает, а при воздействии отрицательного — понижается.

Параллельные колебательные контуры в фильтрах в кодирующем и декодирующих устройствах настраиваются на частоту f_0. При этом в кодирующем устройстве фильтр высокочастотных предыскажений (параллельный колебательный контур), включенный

[1] «Антиклеш».

в цепь сигнала последовательно, действует как «фильтр-пробка» и коэффициент передачи для колебаний в области частоты f_0 снижается. На частотах, отличных от f_0, сопротивление контура снижается, коэффициент передачи фильтра повышается и амплитуда колебаний, частоты которых отличны от f_0, резко возрастает. В декодирующем устройстве (на приемной стороне) колебательный контур включен параллельно выходу и поэтому он ослабляет все колебания с частотами, отличными от частоты f_0.

Кодирующее устройство системы. Назначение кодирующего устройства — формирование полного сигнала цветного телевидения.

Упрощенная структурная схема кодирующего устройства системы СЕКАМ (рис. 7.15) содержит два канала: канал сигнала

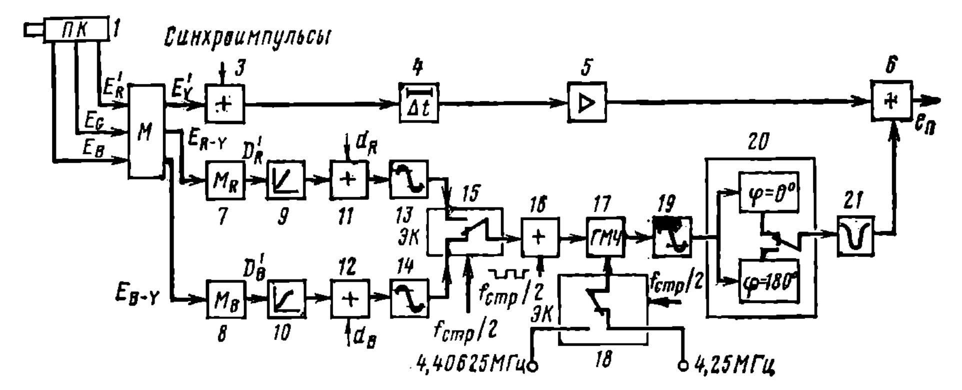


Рис. 7.15. Упрощенная структурная схема кодирующего устройства системы СЕКАМ

яркости E_Y и канал сигналов цветности. В канале яркости в сигнал E_Y замешиваются строчные и кадровые синхронизирующие и гасящие импульсы, а также включена линия задержки на время около 1 мкс. Эта линия необходима для совмещения по времени яркостного сигнала и сигналов цветности. Дело в том, что сигналы цветности проходят по более узкополосному каналу, чем сигнал яркости, что эквивалентно большему времени прохождения сигнала.

На выходе матрицы *2* в цепь сигналов E_{R-Y} и E_{B-Y} включены две дополнительные матрицы *7* и *8*. На выходе матрицы M_R формируется сигнал $D_R = -1{,}9E_{R-Y}$, а на выходе матрицы M_B — сигнал $D_B = 1{,}5E'_{B-Y}$. Использование сигналов D_R и D_B улучшает совместимость системы СЕКАМ — уменьшает видность помехи от поднесущей частоты на экранах черно-белых телевизоров.

Дело в том, что в передаваемых по телевидению сценах редко встречаются сильно насыщенные цвета и амплитуда исходных сигналов E_R, E_G и E_B не превышает 75% от максимально возможной. Амплитуда сигнала E_{R-Y} составляет при этом всего 53%, а сигнала E_{B-Y} 67% от максимально возможной. Кроме того, на крас-

ных и синих деталях цветоразностные сигналы имеют различную полярность. Поэтому введение дополнительного матрицирования поднимает амплитуду сигналов до 100%, что снижает видность помехи от поднесущей.

Далее сигналы D_R и D_B проходят через фильтры низкочастотных предыскажений *9* и *10*. В смесительных каскадах *11* и *12* в сигналы D_R и D_B замешиваются импульсы опознавания строк.

Ограничители *11* и *12* срезают пики напряжений, возникающие в результате действия фильтров НЧП, так как эти пики могут вызвать чрезмерное увеличение девиации частоты поднесущей и, следовательно, расширение полосы сигнала цветности, что ухудшит совместимость. После коммутатора *15* сигналы D_R и D_B проходят через смесительный каскад *16*, на который поступают прямоугольные импульсы с частотой $f_{стр}/2$. Эти прямоугольные импульсы изменяют постоянную составляющую сигнала строк D_R и D_B и тем самым обеспечивают различные значения нулевых частот для «красных» и «синих» строк.

В частотно-модулированном генераторе *17* происходит поочередная модуляция поднесущих колебаний сигналами D_R и D_B. Частотно-модулированный генератор представляет собой генератор с самовозбуждением и системой автоматической подстройки частоты колебаний. Автоматическая подстройка частоты осуществляется путем периодического, с частотой $f_{стр}/2$, подключения к АПЧ кварцевых эталонных генераторов на 4,250 и 4,40625 МГц.

Частотно-модулированные сигналы (сигналы цветности) D'_R и D'_B проходят поочередно ограничитель *19* для «срезания» паразитной АМ и поступают на коммутатор фазы *20*. После коммутатора сигналы цветности проходят фильтр высокочастотных предыскажений *21* и далее поступают в смесительный каскад *6*, в котором и заканчивается формирование полного цветового сигнала системы СЕКАМ.

Достаточно подробно все элементы системы СЕКАМ описаны в [7.2, 7.4, 7.5, 7.8]. Декодирующее устройство рассмотрено в гл. 9.

Испытательный сигнал вертикальных цветных полос. Для контроля и настройки телевизионной аппаратуры широко используется испытательный сигнал вертикальных цветных полос: желтой, голубой, зеленой, пурпурной, красной, синей. Слева от желтой полосы располагается неокрашенная белая полоса, а справа от синей — черная.

Рассмотрим процесс формирования телевизионного сигнала при передаче изображения такого испытательного изображения.

Если перед объективом трехтрубочной передающей телевизионной камеры поместить такое изображение, то камера будет генерировать три исходных сигнала — E_R, E_G, E_B (рис. 7.16). «Красный» канал будет генерировать импульсы частотой $2f_{стр}$, так как голубой, зеленый и синий цвета не содержат красных лучей. «Зеленый» канал будет генерировать импульсы с частотой строк, так как пурпурный, красный и синий цвета зеленых лучей не содержат. «Синий» канал будет генерировать импульсы с частотой

$4f_{стр}$, так как синих лучей нет в желтом, зеленом и красном цветах.

Три первичных испытательных сигнала можно легко генерировать и без применения телевизионной передающей камеры. Их можно сформировать электрическим путем с помощью генератора испытательных телевизионных сигналов.

Для получения сигнала яркости E'_Y все три сигнала суммируются с помощью матрицы. Как видно из рис. 7.16, сигнал E'_Y имеет ступенчатую форму. На экране черно-белого телевизора такой сигнал дает изображение последовательности вертикальных полос, с убывающей яркостью от белого до черного (т. е. «серый» или «градационный» клин).

Путем дальнейшего матрицирования формируются сигналы E'_{R-Y} и E'_{B-Y}, которые представляют собой совокупность разнополярных импульсов.

Затем сигналы E'_{R-Y} и E'_{B-Y} вновь матрицируются и из них формируются сигналы D_R и D_B (рис. 7.17*а*).

На выходе фильтров низкочастотных предыскажений сигналы D_R и D_B приобретают форму, показанную на рис. 7.17*б*. После ограничения сигналы D_R и D_B поступают на частотно-модулированный генератор и модулируют колебания поднесущей частоты. При этом положительным значениям сигналов будет соответствовать положительная девиация, а отрицательным — отрицательная девиация частоты.

Рис. 7.16. Формирование испытательного сигнала изображения системы СЕКАМ

После введения высокочастотных предыскажений сигналы цветности D'_R и D'_B приобретают сложную форму, так как оказываются промодулированными не только по частоте, но и по амплитуде (рис. 7.17*в*). На рис. 7.17*в* различная частота ЧМ колебаний условно обозначена штриховкой разной частоты.

После сложения сигналов цветности с сигналом яркости образуется полный цветовой телевизионный сигнал (рис. 7.17*г*).

В цветном телевизоре этот сигнал декодируется и на экране цветного кинескопа воспроизводится испытательное изображение в виде вертикальных цветных полос. При неправильной регулировке телевизионной аппаратуры цвета искажаются и по степени искажений можно судить об их причинах, т. е. поставить диагноз

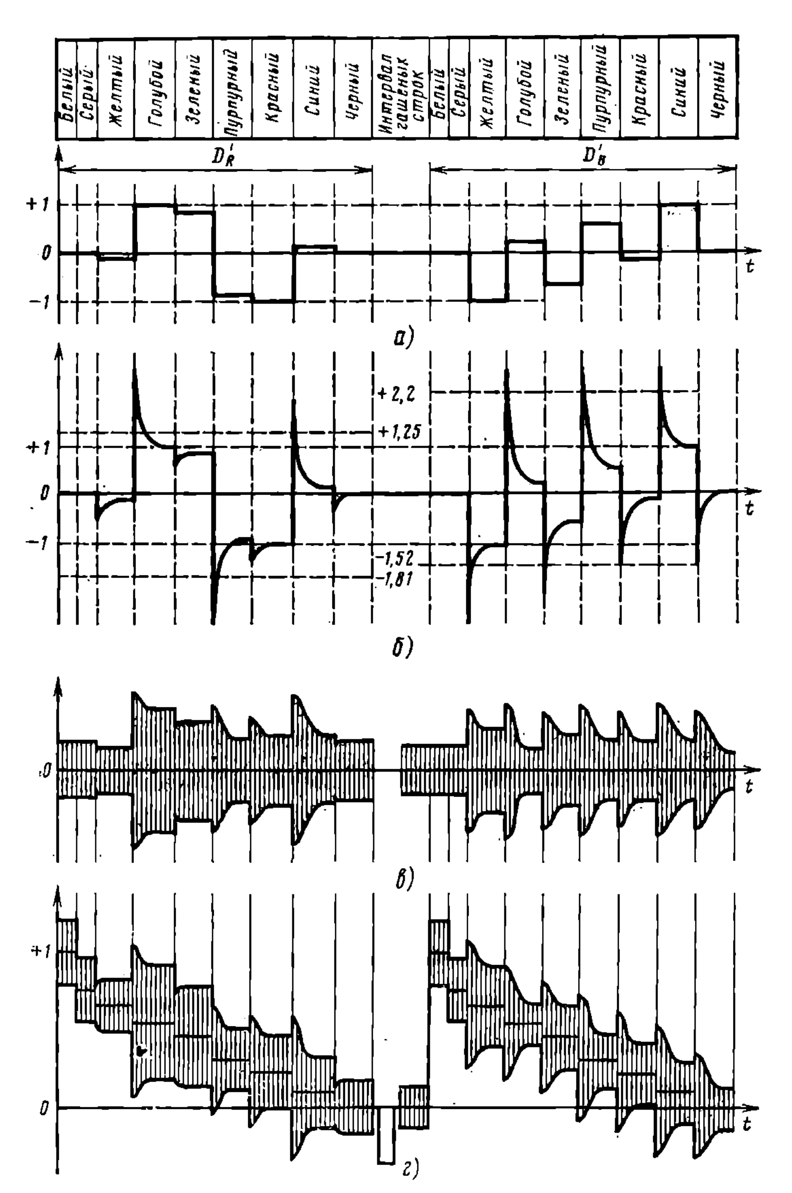


Рис. 7.17. Образование сигналов цветности и полного цветного сигнала системы СЕКАМ:

а — сигналы строк D_R и D_B; *б* — сигналы строк D_R и D_B после введения низкочастотных предыскажений; *в* — сигналы цветности (строки D_R и D_B); *г* — полный телевизионный испытательный сигнал системы СЕКАМ

неисправности и правильно отрегулировать аппаратуру. Для более тщательной проверки телевизионной аппаратуры применяются испытательные сигналы более сложной формы.

7.5. Упрощенные системы цветного телевидения

Сложность трехцветных систем цветного телевидения побуждает ученых и инженеров изыскивать более простые системы передачи и воспроизведения цветов на экране телевизора.

В 1959 г. американский исследователь Лэнд предложил двухцветную систему цветного телевидения. Следует напомнить, что аналогичная система была предложена еще И. А. Адамианом в 1907 г. (патенты — Германия 1907 г. и Россия — 1908 г.). Основываясь на своих экспериментах, Лэнд пытался даже отвергать трехкомпонентную теорию цветного зрения.

Во многих странах ученые и инженеры занялись проверкой эффекта Лэнда, т. е. возможности получения цветных изображений с помощью только двух цветов. В Японии были разработаны специальные упрощенные цветные телевизоры, работающие по системе NTSC, но с пониженным качеством цветного изображения.

Экспериментальная проверка показала, что эффект Лэнда не противоречит «классической» теории цветов. Однако качество цветного изображения в системе Лэнда значительно хуже, чем в трехцветных системах, и восприятие цветных изображений имеет весьма субъективный характер, так как в сильной степени зависит от содержания изображения и индивидуальности зрителя.

Таким образом, система Лэнда не может быть рекомендована для высококачественного цветного телевизионного вещания. Возможно, что она найдет применение в прикладных устройствах.

Впервые обнаруженный еще в прошлом веке этот *эффект Бенхама* состоит в том, что имитация окраски передаваемого изображения может быть получена благодаря мельканию сигнала яркости со специально подобранной частотой.

Предполагают, что сущность этого явления основана на различной инерционности трех групп рецепторов, чувствительных к трем основным цветам.

Один из способов окрашивания изображений, передаваемых по черно-белому телевидению и принимаемых на экранах обычных телевизоров, был разработан австрийскими учеными и состоит в том, что для всех трех одноцветных изображений (т. е. красного, зеленого и синего) изготавливаются специальные киноленты с определенной последовательностью чередования кадров различной яркости. Опытные передачи простейших неподвижных окрашенных изображений были проведены в СССР, Австрии, Англии, Венгрии. При описанном способе получается очень слабая окраска изображений, восприятие цвета которых в сильной степени зависит от индивидуальных особенностей наблюдателя (телезрителя). Он может найти ограниченное применение только для прикладных целей.

Глава 8

Техника телевизионного вещания

8.1. Основные принципы телевизионного вещания в СССР

Телевизионное вещание в нашей стране является одним из могучих средств коммунистического воспитания трудящихся, распространения информации, политических, культурных и научных знаний. Основным методом телевизионного вещания является передача телевизионных программ через сеть телевизионных программных центров (ТЦ), мощных телевизионных станций (ТС) и ретрансляторов малой мощности.

Большинство программных телецентров и мощных телевизионных станций связаны между собой при помощи сети РРЛ и кабельных линий. Для обмена телевизионными программами между Москвой и Востоком нашей страны, для покрытия телевизионным вещанием отдаленных и малонаселенных районов используются системы спутниковой связи (ССС) ОРБИТА и ЭКРАН.

С помощью РРЛ и кабельных линий, а также систем спутниковой связи советское телевизионное вещание связано с системами ИНТЕРВИДЕНИЕ и ЕВРОВИДЕНИЕ.

Основной базой советского Центрального телевидения является крупнейший в мире Телевизионный технический центр (ТТЦ) им. 50-летия Октября.

Так как телевизионный сигнал широкополосный (до 6 МГц), а частота несущих колебаний радиопередатчика должна быть минимум в 8—10 раз выше максимальной частоты модуляции, для телевизионного вещания могут быть использованы только волны УКВ диапазона.

Сигналы изображения передаются методом амплитудной модуляции с частичным подавлением нижней боковой полосы (для экономии «места» в эфире и для упрощения телевизионного приемника), а звуковое сопровождение передается методом частотной модуляции в полосе частот 150 кГц. Разнос между несущими частотами сигналов изображения и звука строго фиксирован и равен 6,5 МГц.

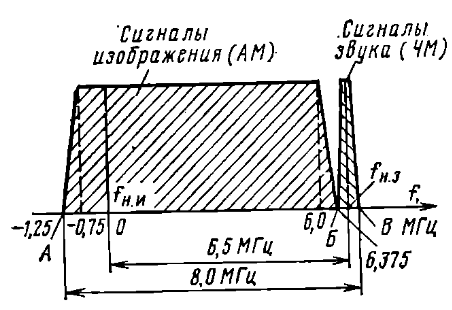


Рис. 8.1. Амплитудно-частотная характеристика отечественного телевизионного вещательного радиоканала

Как видно из рис. 8.1, каждый телевизионный канал занимает полосу частот шириной 8,0 МГц. Для телевизионного вещания в СССР выделено 12 каналов в метровом диапазоне волн и 61 канал в дециметровом диапазоне.

8.2. Программные телевизионные центры

Современный программный радиотелевизионный центр — это сложный комплекс специальных сооружений и оборудования, предназначенный для создания и передачи собственных телевизионных программ, трансляции программ других телецентров, консервации программ путем записи их на магнитную ленту или кинопленку, для передачи телевизионных фильмов.

Основой телецентра является аппаратно-студийный комплекс (АСК), в состав которого входят телевизионные студии и телекинопроекционные аппаратные, аппаратные видеозаписи.

Телевизионная студия это помещение, хорошо изолированное от внешних шумов и оборудованное мощными источниками света. На специальных передвижных штативах и операторских экранах в студии устанавливаются передающие телевизионные камеры, а на легких штативах (журавлях) подвешиваются микрофоны.

Помещение телевизионной аппаратной примыкает к студии и обычно располагается на уровне второго этажа, с таким расчетом, чтобы через окно в стене аппаратной можно было наблюдать за всем происходящим в студии. Окно делается широким и звуконепроницаемым. В аппаратной устанавливаются видеоконтрольные устройства ВКУ и пульты для художественного и технического управления передачей.

В центральной аппаратной телецентра сосредоточено техническое управление всего аппаратно-студийного комплекта. Телевизионные сигналы из центральной аппаратной поступают на радиостанцию и в междугородную аппаратную, для передачи по РРЛ и магистральным кабельным линиям.

8.3. Технические средства внестудийного телевизионного вещания

Для проведения внестудийного телевизионного вещания используются передвижные телевизионные станции (ПТС), передвижные видеозаписывающие станции (ПТВС), стационарные телевизионные трансляционные пункты (ТТП), которые оборудуются в концертных залах, театрах, на стадионах и других подобных объектах.

Передвижная телевизионная станция это по существу малый телевизионный центр, смонтированный в автобусе. Малогабаритная аппаратура сигнала изображения, режиссерский пульт с ВКУ, синхрогенератор, линейный усилитель и передатчики сигнала изображения и звука сантиметрового диапазона монтируются в автобусе, а передающие камеры выносятся из него и устанавливаются на легких штативах. Передатчики работают обычно на параболические антенны, которые, как правило, устанавливаются на крыше автобуса и ориентируются на мачту телецентра. На мачте телецентра, на специальном балконе, устанавливаются две-три параболические приемные антенны, которые при помощи си-

стемы дистанционного управления ориентируются в направлении места нахождения ПТС.

Принятый антенной сигнал поступает в аппаратную внестудийных передач, а оттуда — в программную аппаратную на микшерский пульт. Для того чтобы обеспечить телевизионному оператору бо́льшую свободу перемещения, в состав ПТС включают легкие ранцевые репортажные телевизионные установки РРТУ (рис. 8.2). В ранце такой установки размещаются портативный синхрогенератор и передатчик с комплектом питания для связи с ПТС.

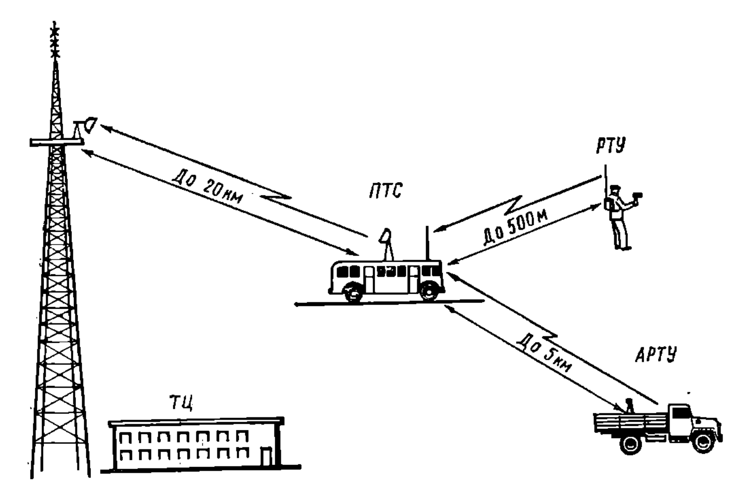


Рис. 8.2. Схема организации внестудийных телевизионных передач

Существуют также мобильные репортажные телевизионные установки (АРТУ), смонтированные на легковом автомобиле и позволяющие вести телевизионный репортаж в движении. Передвижные видеозаписывающие станции представляют собой небольшой автобус, оборудованный малогабаритной аппаратурой тракта и видеомагнитофоном, укомплектованный выносными передающими камерами. Такая станция позволяет оперативно произвести видеозапись какого-либо события для последующего включения в телевизионную программу. Трансляционный пункт (стационарный) содержит ту же аппаратуру, что и ПТС, но в ряде случаев сигнал на телецентр передается не по радио, а по специальному соединительному широкополосному кабелю.

8.4. Телекинопроекционная аппаратная

Существует много систем телевизионной передачи кинофильмов. Однако все их можно разделить на две основные группы:

системы, использующие трубки с накоплением зарядов;

системы мгновенного действия, использующие принцип бегущего луча.

Системы на трубках с накоплением зарядов в свою очередь делятся на два класса: *системы с прерывистым движением пленки* и импульсной засветкой фотокатода передающей трубки и системы с *непрерывным движением пленки.*

Наибольшее применение получили системы с прерывистым движением пленки, так как они позволяют использовать обычные театральные кинопроекторы с небольшими переделками, заключающимися в повышении скорости смены кадров с 24 до 25 кадров в сек, и в применении щелевого *обтюратора.*

Синхронизация смены кадров с частотой сети достигается заменой асинхронного двигателя на 1440 об/мин синхронным на 1500 об/мин и некоторым изменением передаточного числа редуктора.

Большие трудности представляет то, что время транспортировки кинопленки в кадровом окне кинопроектора с помощью скачкового механизма занимает 25% кадрового периода, а время обратного хода по кадру в телевидении должно составлять всего примерно 8%.

Если проецировать изображение на мишень передающей трубки в течение всего времени, пока пленка стоит неподвижно в кадровом окне проектора, то четные полукадры будут освещаться только в течение половины своей длительности, так как конец второго полукадра будет совпадать с перекрытием кадрового окна обтюратором и продергиванием пленки. В результате экспозиция верхней и нижней частей кадра будет различной. Для устранения этого при передаче кинофильмов применяется импульсная засветка фотокатода: изображение проецируется на мишень передающей трубки только во время обратного хода вертикальной развертки. Это достигается применением обтюратора с двумя узкими щелями шириной по 9° (при вращении обтюратора со скоростью 1500 об/мин) или с одной щелью шириной 18° (при скорости вращения обтюратора в 3000 об/мин).

В системе, использующей принцип бегущего луча (рис. 8.3), пленка движется равномерно, а не скачками, что обеспечивает

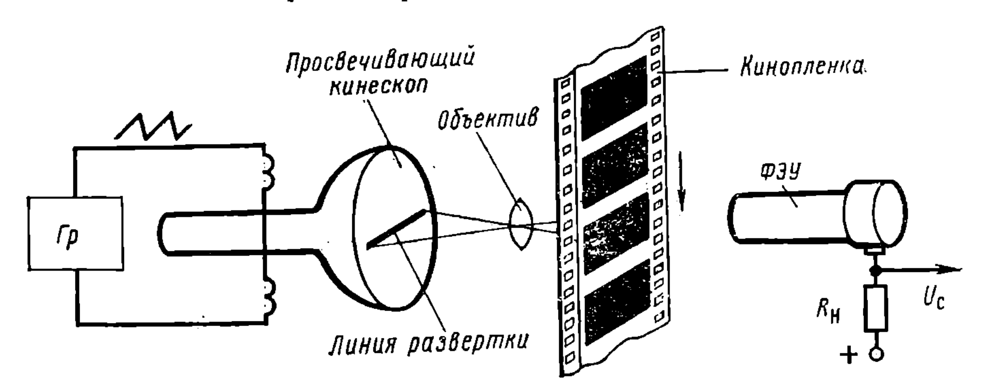


Рис. 8.3. Принцип телевизионной передачи кинофильма по способу «бегущего луча»

значительно меньший ее износ и вместо дорогих и сложных в эксплуатации передающих трубок используются три фотоэлектронных умножителя (ФЭУ) и один просвечивающий кинескоп. В данной системе развертка вдоль строки (поперек движению пленки) электронная, а по кадру механическая.

При чересстрочной развертке необходима поочередная развертка четных и нечетных строк каждого кадра. Это обычно достигается оптическим расщеплением лучей. Оптико-механический узел такой системы требует высокой точности изготовления. К просвечивающему кинескопу системы с бегущим лучом предъявляются повышенные требования в отношении качества экрана, так как он может являться источником значительных по своему уровню шумов.

Система с бегущим лучом в настоящее время очень широко применяется на телевизионных центрах для передачи неподвижных изображений — диафильмов, диапозитивов, цветных иллюстраций.

Более подробное описание систем телекинопроекции можно найти в [8.5] и [8.10].

8.5. Консервация телевизионных программ

Возможность длительного сохранения (консервации) телевизионного изображения и его последующее воспроизведение необходимы для повторения передач, ретрансляции программ в местности, лежащие на территории других часовых поясов, и по некоторым другим причинам.

Сохранить (записать) телевизионное изображение можно следующими известными в настоящее время способами:

магнитная запись электрических сигналов изображения;

киносъемка телевизионного изображения с экрана кинескопа (кинозапись);

запись оптического телевизионного изображения непосредственно электронным лучем (вакууме!) на фотоэмульсии кинопленки или на специальной, размягчаемой в процессе записи синтетической пленки (термопластическая запись);

запись лазерным лучом на кино- или термопластической пленке.

Наиболее широкое в настоящее время применение находит магнитная запись (рис. 8.4). Электрические сигналы, подлежащие записи, подводятся к обмотке записывающей головки с узким рабочим зазором (пишущей щелью). Мимо зазора с постоянной скоростью движется сигналоноситель — тонкая ацетатная пленка, покрытая слоем железного порошка (магнитная лента). Напряженность магнитного поля в рабочем зазоре изменяется в такт с электрическим сигналом. Магнитные силовые линии в зазоре благодаря краевому эффекту частично выходят из зазора («провисают») и намагничивают участки магнитной ленты, проходящие мимо щели. При воспроизведении записи намагниченная лента

протягивается мимо рабочего зазора считывающей (воспроизводящей) магнитной головки и возбуждают в ее обмотке ЭДС, форма которой повторяет записанный электрический сигнал.

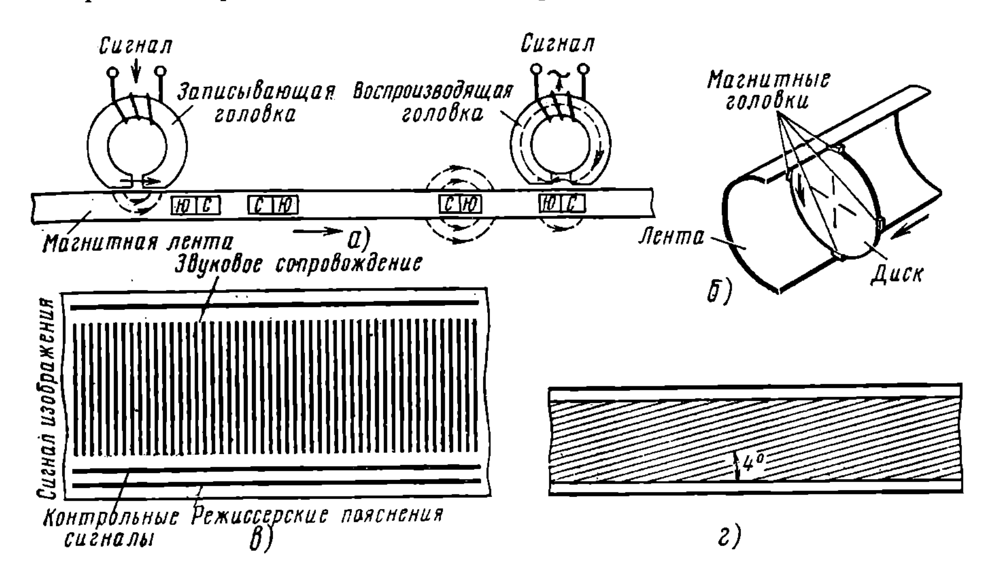


Рис. 8.4. Магнитная запись сигналов изображения: *а* — принцип магнитной записи (продольная запись); *б* — поперечная запись на широкую магнитную ленту вращающимися магнитными головками; *в* — размещение дорожек при поперечной записи сигналов изображения и продольной записи сигналов звука и другой низкочастотной информации; *г* — расположение дорожек при наклонной (винтовой) записи сигналов изображения в бытовых и репортажных видеомагнитофонах

Преимущества магнитной записи: не требует никакой обработки и может быть воспроизведена сразу; запись легко «стереть» (путем размагничивания) и магнитную ленту можно использовать многократно. Максимальная частота сигнала, который может быть записан на магнитофоне, тем выше, чем больше скорость движения магнитной ленты, тоньше размол зерен магнитного порошка, уже магнитный зазор в головке.

Зависимость наивысшей частоты сигнала, которую можно записать на данном магнитофоне, связана со скоростью движения ленты и минимальной длиной волны записи и выражается простым соотношением

$$f_{\text{макс}} = v/\lambda_{\text{мин}},$$

где v — скорость движения ленты, м/с; $\lambda_{\text{мин}}$ — минимальная длина волны, которая может быть записана данной магнитной головкой. Для современных магнитных головок $\lambda_{\text{мин}} = 4 \div 6$ мкм.

Рассчитаем скорость движения магнитной ленты для записи телевизионного сигнала с $f_{\text{макс}} = 6$ МГц:

$$v = f_{\text{макс}}\lambda_{\text{мин}} = 6 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-6} = 30 \text{ м/с}.$$

Для сравнения укажем, что скорость движения магнитной ленты в бытовых магнитофонах для записи звука составляет от 4 до 19 см/с. При скорости в 30 м/с будет весьма большим расход ленты: 1,8 км на 1 мин записи, или 108 км на 1 ч записи. Кроме этого, при таких больших скоростях лента будет испытывать очень сильное натяжение (будет часто рваться, а магнитные головки быстро изнашиваться). Таким образом, обычный прямой способ магнитной записи, неподвижными головками на движущуюся ленту, для записи телевизионных сигналов непригоден.

Были предложены способы поперечной (рис. 8.4*б*) и наклонной (рис. 8.4*в*) магнитной записи.

Поперечная магнитная запись, на широкую магнитную ленту (50—70 мм), применяется в профессиональных видеомагнитофонах на телевизионных центрах. Магнитные головки устанавливаются на вращающемся с большой скоростью диске. Магнитная лента относительно медленно (со скоростью около 0,5 м/с) движется параллельно оси диска. Так как линейная скорость движения магнитных головок, относительно ленты, достаточно высокая, то и наивысшая частота записываемого телевизионного сигнала составляет несколько мегагерц.

Наклонная (винтовая) магнитная запись используется в бытовых или переносных (перевозимых) профессиональных видеомагнитофонах, рассчитанных на магнитную ленту шириной 25 или 12,5 мм.

Бытовые видеомагнитофоны комплектуются миниатюрной передающей телевизионной камерой и предназначены для совместной работы с телевизором. Видеомагнитофон значительно сложнее обычного магнитофона для звукозаписи — предъявляются значительно более высокие требования к точности работы лентопротягивающего механизма, к стабилизации скорости движения ленты, к качеству самой магнитной ленты. Читателя, которого заинтересуют более детальные сведения по магнитной видеозаписи, адресуем к [8.7].

В последние годы появилась новая форма записи видеоинформации — не на магнитную ленту, а на диски. Это более удобная для массового потребителя форма записи.

Предложено несколько способов записи на видеодиски (видеопластинки): магнитная, оптическая и механическая запись. Во всех этих системах информация записывается по спирали, как на обычной грампластинке.

Все эти три системы рассчитаны лишь на «проигрывание» готовых видеозаписей.

Фотографическая запись на видеодисках может считываться либо «на просвет» либо на отражение. Для считывания применяется тонкий световой луч (в некоторых системах миниатюрный лазер).

Механоэлектрическая видеозапись (предложена в ФРГ) считывается специальным пьезокерамическим преобразователем с полозообразным щупом из алмаза или сапфира, который в про-

цессе воспроизведения видеозаписи скользит по волнам записи (запись глубинная) и передает давление на пьезокерамический преобразователь. Вопреки прочно установившемуся взгляду о непригодности механических систем для записи высокочастотных колебаний описанная система работает. Весь секрет в том, что авторы этой системы отказались от перемещения механических элементов и использовали деформацию пьезокерамики, которая не приводит к механической инерции.

8.6. Передающие телевизионные радиостанции и маломощные ретрансляторы

Передающая телевизионная радиостанция имеет в своем составе два радиопередатчика: сигналов изображения и звука. Оба радиопередатчика работают на одну общую антенну, поднятую на высокой опоре, имеющей, как правило, вид свободно стоящей башни. На этой опоре, как правило, кроме телевизионных антенн, размещаются антенны УКВ-ЧМ вещательных передатчиков, и на специальном балконе — параболические антенны радиолинии ПТС. С помощью поворотных механизмов, с дистанционным управлением из аппаратной внестудийных передач, эти антенны ориентируются на ПТС.

Типовые радиостанции имеют мощности 50/15; 15/7; 5/2; 2/1 кВт (в числителе указана мощность передатчика изображения, в знаменателе — звука).

Каждый из передатчиков состоит из двух полукомплектов, которые работают на параллельную нагрузку. В аварийном режиме работает только один полукомплект.

Для обеспечения совместной работы двух передатчиков (изображения и звука) на одну общую антенну применяется либо система балансного моста, либо система специальных разделительных фильтров.

Существует много различных конструкций телевизионных передающих антенн, но все они имеют в горизонтальном направлении круговую диаграмму направленности, а для того чтобы в вертикальной плоскости сузить диаграмму и «прижать» излучение к земле, антенны выполняются многоэтажными.

Дальность уверенного приема телепередач ограничена расстоянием прямой видимости и в среднем составляет 60—70 км. Если антенна размещена на возвышенности (например, в Пятигорске радиостанция установлена на горе Машук высотой 500 м), то дальность уверенного приема возрастает. Останкинский ТТЦ имеет антенную башню высотой 533 м, что гарантирует зону действия более 100 км. Для расширения зоны действия в наиболее крупных районных центрах, удаленных от областного (республиканского) телевизионного центра на 100—200 км, строятся ретрансляционные станции, которые состоят из высокочувствительного специального телевизионного приемника, работающего от приемной антенны с большим коэффициентом усиления, и мало-

мощных передатчиков (изображения и звука), работающих на одну общую турникетную (с круговой диаграммой направленности) антенну.

При мощности передатчиков ретрансляционной станции 50—100 Вт радиус зоны ее обслуживания составляет 5—10 км. Для ретрансляции используется другой телевизионный канал, чтобы не создавать помех для своего приемника.

Следует добавить, что советским стандартом телевизионного вещания принята негативная модуляция передатчика (рис. 8.5), т. е. модулируется сигнал изображения передатчика сигналом изображения негативной полярности.

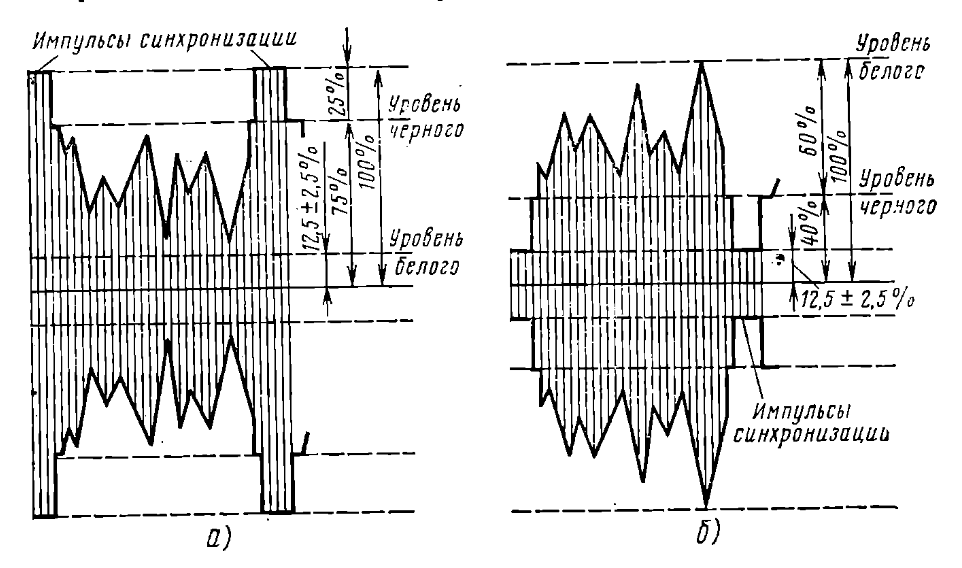


Рис. 8.5. Телевизионный радиосигнал:
а — при негативной полярности модуляции; *б* — при позитивной

8.7. Междугородный обмен телевизионными программами

Для обмена программами и для передачи программ Останкинского Общесоюзного Технического телевизионного центра им. 60-летия Октябрьской революции используются радиорелейные линии; кабельные линии связи; линии космической связи.

Радиорелейная система — это цепочка автоматически действующих приемно-передающих радиостанций, установленных на высоких опорах (50—70 м) на расстоянии друг от друга 40—50 км. На опорах устанавливаются остронаправленные антенны, что позволяет при малой мощности передатчиков обеспечивать устойчивую радиосвязь. Для работы РРС используются дециметровые и сантиметровые радиоволны, что позволяет при сравнительно малых габаритах антенн получить острую диаграмму направленности.

Достоинства РРС по сравнению с кабельными линиями:

низкие капитальные затраты на строительство и эксплуатацию;

сравнительно небольшие сроки строительства;

возможность ответвления передаваемых телевизионных сигналов на промежуточных пунктах, для обслуживания прилегающих районов путем подачи сигнала на местные ретрансляторы.

Там, где строительство радиорелейных станций через интервалы 40—50 км встречают затруднения (большие водные преграды, болота, большие лесные массивы), строят тропосферные радиорелейные линии. Тропосферные линии используют явления отражения радиоволн от неоднородностей тропосферы, возникающих от турбулентных (вращательных) процессов в тропосфере.

Расстояния между такими радиорелейными станциями может достигать 300—400 км. Но так как сигнал, приходящий из тропосферы, очень слаб, приходится использовать передатчики с большой мощностью сигнала (в 100 раз выше, чем в обычных РРС) и очень большие антенны, площадью до 600 м^2 (у обычной РРС антенна в 100—150 раз меньше).

Но зато каждая пара таких тропосферных радиостанций заменяет 5—6 обычных промежуточных РРС станций.

В нашей стране развивается сеть магистральных кабельных линий, имеющих, кроме обычных симметричных пар, коаксиальные пары. По каждой такой коаксиальной паре можно одновременно передавать телевизионные, телефонные и телеграфные сигналы. Для повышения качества передачи телевизионных сигналов его спектр транспонируется (переносится) в область более высоких частот и передается на поднесущей. Весьма перспективными являются волноводы дальней связи и оптические кабели связи (световоды). Применяемый в СССР цельнометаллический стальной волновод имеет внутренний диаметр 6 см, толщину стенок 3 мм. Внутри волновод покрывается слоем электролитической меди толщиной 20 мкм. При работе в миллиметровом диапазоне волн длина усилительных участков составляет примерно 20 км.

Оптические кабели известны двух классов: линзовые с дискретной фокусировкой луча и волоконные с непрерывной фокусировкой луча. В линзовых световодах с дискретной фокусировкой в металлической трубе через каждые 100—200 м устанавливаются линзы. Однако такие световоды имеют большой диаметр направляющей трубы (50—100 мм) и должны быть строго прямолинейны.

Стекловолоконные оптические кабели представляют собой жгут из тонких стеклянных волокон диаметром от нескольких до десятков микрометров.

Ведутся поисковые работы в области создания сверхпроводящих кабелей, принцип действия которых основан на резком повышении проводимости некоторых материалов (ниобия, рения, тантала, сплава ниобия с оловом) при температурах, близких к абсолютному нулю (—273°С). Для охлаждения сверхпроводящий кабель помещают в трубопровод из нержавеющей стали, меди

или алюминия с теплоизолирующим покрытием. По трубе прокачивается жидкий азот, гелий или водород. Такой кабель позволяет получить связь без усилителей на расстоянии до 1000 км.

8.8. Спутниковые системы связи

Для передачи телевизионных сигналов на дальние расстояния, а также для охвата телевизионным вещанием малонаселенных районов, где строительство радиорелейных и кабельных линий экономически не оправдано, в СССР созданы космические системы связи ОРБИТА и ЭКРАН [8.8].

Космическая (спутниковая) система связи состоит из наземной передающей станции, ретранслятора, установленного на искусственном спутнике Земли (ИСЗ), и сети наземных приемных станций.

Первый спутник МОЛНИЯ-1 был запущен в апреле 1965 г. на эллиптическую орбиту с высотой апогея 40 000 км, высотой перигея 500 км и периодом обращения вокруг Земли 12 ч.

Эта система создала «космический мост» между Москвой и Владивостоком, по которому передавались телевизионные программы в обе стороны, а также осуществлялся телефонный обмен по 60 дуплексным телефонным каналам. Затем последовал еще ряд запусков и в космосе была создана целая система спутников МОЛНИЯ-1, которая использовалась не только для внутреннего обмена телевизионными программами СССР, но и для международного обмена и для проведения различных совместных экспериментов с другими странами.

В 1967 г. вступила в эксплуатацию советская национальная система телевизионного вещания ОРБИТА (рис. 8.6). Основой этой системы служит наземная передающая станция, оборудованная большой параболической антенной (диаметр 12 м) и пере-

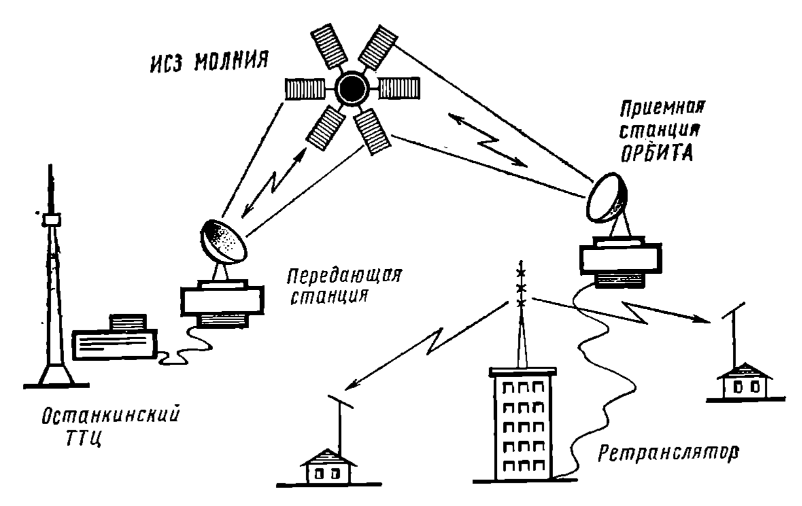


Рис. 8.6. Функциональная схема спутниковой телевизионной системы ОРБИТА

датчиком мощностью 10 кВт. Станция связана наземными соединительными линиями с ТТЦ Останкино, по которым получает телевизионную программу Центрального телевидения.

Наземная передающая станция излучает сигналы в сторону спутника МОЛНИЯ, который принимает их, усиливает и ретранслирует на приемные наземные станции ОРБИТА.

Типовая земная станция ОРБИТА располагается в круглом железобетонном здании, которое одновременно является основанием антенной системы, состоящей из большого параболического зеркала и облучателя, системы электроприводов антенны. Опорноповоротная системы антенны обеспечивает ее перемещение в двух плоскостях: по азимуту на ±270° и по углу места от —2 до 100°. На станции в качестве малошумящего входного устройства используется параметрический усилитель, охлаждаемый жидким азотом.

Сигналы, принятые станцией ОРБИТА после их усиления и обработки, по соединительным линиям подаются на местный телецентр или ретранслятор и далее излучаются ими в эфир на частотах, отведенных для телевизионного вещания. В настоящее время в СССР действует свыше 100 станций ОРБИТА. Первоначально система ОРБИТА работала совместно со спутниками МОЛНИЯ-1 в диапазоне частот 1 ГГц. Затем были запущены спутники МОЛНИЯ-2, работающие в диапазоне 4 ГГц, и все наземные приемные станции также были переведены на работу в этом диапазоне частот. Система получила название ОРБИТА-2.

Мощность бортового передатчика на спутнике МОЛНИЯ-2 40 Вт. Питание всей аппаратуры бортового ретранслятора осуществляется от солнечных батарей и химических источников тока.

Дополнением к системе ОРБИТА является разработанная советскими специалистами перевозимая станция МАРС (малая ретрансляционная станция). Вся аппаратура станции МАРС размещается в трех больших контейнерах. Монтируется станция прямо на земле в течение нескольких дней. Станция имеет поворотную параболическую антенну диаметром 7 м и является приемно-передающей.

Станция МАРС получила первое практическое применение в 1973 г. для организации телевизионных передач из Дели во время официального дружеского визита Генерального секретаря ЦК КПСС товарища Л. И. Брежнева в Индию. Миллионы телезрителей в нашей стране и за рубежом смотрели прямые репортажи с места событий.

Наземная приемная станция ОРБИТА представляет собой достаточно сложное и дорогостоящее сооружение, и для охвата телевизионным вещанием районов с очень малой плотностью населения требуются более простые и, следовательно, более дешевые, не требующие большой мощности для питания приемные станции.

В 1976 г. в Советском Союзе был выведен на стационарную (круговую) орбиту спутник СТАЦИОНАР-Т, который совместно с

сетью наземных станций образовал систему спутниковой связи ЭКРАН (рис. 8.7).

Наземная передающая станция системы ЭКРАН, так же как и передающая станция системы ОРБИТА связана наземными линиями связи с ТТЦ Останкино. Передача сигналов на спутник

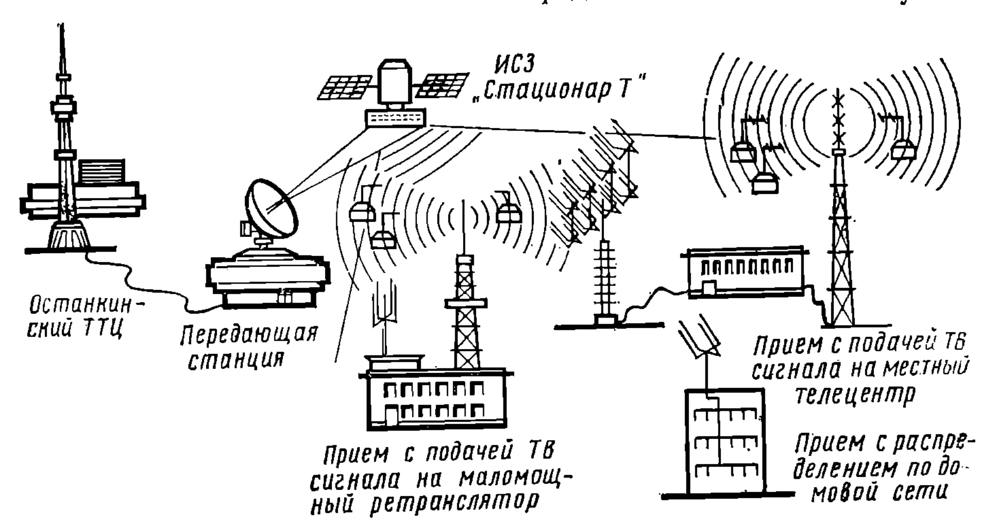


Рис. 8.7. Функциональная схема спутниковой телевизионной системы ЭКРАН

осуществляется на частоте 6200 МГц методом частотной модуляции. Мощность передатчика 8—10 кВт. Передающая антенна — параболическая [8.6].

Ретранслятор, установленный на спутнике СТАЦИОНАР-Т, излучает сигнал в диапазоне частот 702—726 МГц.

Приемные устройства системы ЭКРАН делятся на два класса:

устройства I класса обеспечивают высококачественный и надежный прием и предназначены для подачи принятой программы на телевизионные передатчики большой и средней мощности, имеющие видео- и звуковые модуляторы;

устройства II класса, представляющие собой упрощенные приемники, предназначенные для преобразования принятого ЧМ сигнала в стандартный телевизионный сигнал с АМ несущей изображения и ЧМ несущей звукового сопровождения для дальнейшего его распределения между абонентами через маломощный ретранслятор гетеродинного типа либо кабельную распределительную сеть [8.6].

Таким образом, система ЭКРАН является первым шагом к созданию системы непосредственного телевизионного вещания (НТВ), т. е. к системе, позволяющей осуществлять прием телевизионных программ со спутника связи непосредственно на индивидуальный телевизионный приемник. В качестве антенных устройств в приемных станциях системы ЭКРАН используются пространственные структуры из полотен типа «волновой канал».

Система ЭКРАН успешно прошла испытания и получает широкое распространение.

В заключение следует упомянуть, что по инициативе Советского Союза в 1971 г. была создана международная система спутниковой связи ИНТЕРСПУТНИК, странами—учредителями которой явились НРБ, ВНР, ГДР, Республика Куба, МНР, ПНР, СРР, СССР и ЧССР.

8.9. Кабельное телевидение

С каждым годом растет число радиостанций различного назначения и все труднее становится выделять свободные каналы для телевизионного вещания. Метровый диапазон уже перенасыщен, и началось освоение диапазона дециметровых волн. Однако дециметровые волны почти не обладают свойством дифракции, т. е. не могут огибать препятствия в виде больших строений. В современном городе, в особенности при разноэтажной застройке, многие телезрители попадают в радиотень, создаваемую громадинами из стали и бетона; не всегда помогают и коллективные приемные антенны.

Одновременно с каждым годом растет уровень радиопомех от различных электрических устройств (бытовых электрических приборов, лифтов, электрического транспорта, системы зажигания автомобилей, световых реклам, медицинских приборов и т. п.), что также снижает качество телевизионного приема, искажает изображение на экране телевизора. Где искать выход?

В каждом доме есть радиоприемник и обычно не один. Но мы часто предпочитаем включать не эфирный радиоприемник, а радиоточку, так как нет помех, да и качество звучания музыки значительно выше! Широкое развитие в нашей стране получило трехпрограммное проводное вещание. Специалисты сулят в скором времени пять программ. Конечно, в туристическом походе эфирный радиоприемник незаменим. Поэтому давнишний спор «радио или проволока?» давно уже решен: и радио, и проволока, в зависимости от конкретных условий.

Во многих странах получило развитие так называемое кабельное телевидение, при котором телезритель получает сигнал не по эфиру, а по широкополосному (коаксиальному) кабелю.

Главным преимуществом кабельного телевидения является возможность обеспечить телезрителю большую свободу в выборе программ (в некоторых системах до нескольких десятков программ).

Но кабельное телевидение требует больших затрат — в основном на сооружение линий связи (линия из коаксиального кабеля с системой коммутации стоит дорого!). В капиталистических странах введены платные системы телевидения, при которых львиная доля расходов по строительству сетей кабельного телевидения перекладывается на плечи телезрителей. Например, в Японии за установку проводной системы телевидения требуется уплатить 40 тыс. иен и 500 иен ежемесячно за обслуживание.

Бесспорно, кабельному телевидению в нашей стране принадлежит большое будущее и развиваться оно будет как подсистема Единой автоматизированной системы связи ЕАСС — по кабельному вводу в каждую квартиру будут поступать не только телевизионные программы, но по этому же кабелю будут вестись телефонные разговоры, будет канал для связи с вычислительным центром (в квартирах будут устанавливать терминалы — устройства для связи с ЭВМ), будет канал и для видеотелефона.

Глава 9

Телевизоры

9.1. Общая характеристика черно-белых телевизоров

Функции телевизоров. Приемные телевизионные устройства вещательного типа (телевизоры) должны выполнять следующие функции:

принимать радиосигналы изображения и звукового сопровождения;

усиливать сигналы изображения до уровня, необходимого для работы кинескопа, а сигналы звукового сопровождения—до значения, необходимого для работы громкоговорителя;

выделять из полного телевизионного сигнала импульсы синхронизации строк и кадров и отделять их друг от друга;

создавать необходимые пилообразные токи, синхронные с приходящими синхроимпульсами и обеспечивающие перемещение электронного луча по экрану кинескопа;

преобразовать принятые сигналы изображения в видимое изображение, а звуковые сигналы в звуки;

обеспечить электропитанием все цепи телевизора.

Каналы телевизионного вещания. В гл. 8 отмечалось, что для передачи телевизионных сигналов применяется метод амплитудной модуляции с частичным подавлением нижней боковой полосы частот. Это позволяет передавать сигналы изображения и звукового сопровождения по каналу с шириной полосы 8 МГц. Прием излучения такой полосой передатчика частот без принятия специальных мер дает недопустимо большие искажения: после детектирования амплитуда низкочастотных составляющих (ниже 0,75 МГц) будут вдвое больше остальных составляющих. Ослабление искажений, связанных с частичным подавлением нижней боковой полосы частот сигнала, достигается специальной настройкой телевизионного приемника, показанной на рис. 9.1.

Как видно из рисунка, в полосе частот от 0,75 до 6,00 МГц амплитудно-частотная характеристика должна быть прямой, параллельной оси частот, а в полосе $f_н$—0,75 до $f_в$+0,75 МГц должна иметь так называемую *кососимметричную* форму, при кото-

рой колебания несущей частоты должны подавляться наполовину (6 дБ), а сумма амплитуд напряжений, равноудаленных от несущей, равняться амплитуде неподавленных составляющих от 0,75 до 6,00 МГц, т. е. 0 дБ.

Рис. 9.1. Номинальная радиочастотная характеристика канала изображения телевизионного приемника (амплитудно-частотная)

Хотя для передачи телевизионных сигналов могут быть использованы частоты от 45—50 МГц до весьма высоких значений, практически оказалось более удобным применять как передающие, так и приемные устройства, работающие на более низких частотах (более длинных волнах). Длинные волны лучше огибают препятствия, более регулярно и на большие расстояния распространяются за линию горизонта. Поэтому для передачи телевидения в первую очередь осваивались каналы с более низкими частотами, и этим каналам были присвоены первые номера. В настоящее время ГОСТ 7845—79 предусматривает для телевизионного вещания в области метровых волн три диапазона, в которых размещаются 12 каналов по 8 МГц. В каждом канале располагаются две несущие частоты. Нижняя предназначена для передачи сигналов изображения методом амплитудной модуляции с частичным подавлением нижней боковой полосы. Верхняя — для передачи сигналов звукового сопровождения методом частотной модуляции.

Несущие частоты двенадцати телевизионных каналов метровых волн приведены в табл. 9.1. Так как в процессе развития телевизионного вещания этих каналов вскоре стало не хватать, был выделен еще 61 канал (с 21-го по 81-й) в диапазоне ДМВ. Эти каналы занимают частоты от 470 до 958 МГц. Для перво-

Таблица 9.1

Частотные диапазоны	Телевизионные каналы	Полоса частот	Несущая частота, МГц: сигнала изображения	Несущая частота, МГц: сигнала звука	Частотные диапазоны	Телевизионные каналы	Полоса частот	Несущая частота, МГц: сигнала изображения	Несущая частота, МГц: сигнала звука
I	1	48,5—56,5	49,75	56,25	III	6	174,0—182,0	175,25	181,75
	2	58,0—66,0	59,75	65,75		7	182,0—190,0	183,25	189,75
						8	190,0—198,0	191,25	197,75
II	3	76,0—84,0	77,25	83,75		9	198,0—206,0	199,25	205,75
	4	84,0—92,0	85,25	91,75		10	206,0—214,0	207,25	213,75
	5	92,0—100,0	93,25	99,75		11	214,0—222,0	215,25	221,75
						12	222,0—230,0	223,25	222,75

очередного освоения рекомендованы каналы с 21-го по 39-й (частоты с 470 до 622 МГц).

Несущие частоты сигналов изображения и звука 21-го канала соответственно равны: $f_{из}=471,25$ МГц, а $f_{зв}=477,75$ МГц.

Частоты любого другого телевизионного канала ДМВ могут быть найдены по формулам

$$f_{из}=471,25+8(n-21);$$

$$f_{зв}=477,75+8(n-21) \quad (n \text{ — номер канала}). \qquad (9.1)$$

Устройство и «поколения» телевизоров. За 40 лет существования электронного телевидения структурная схема телевизоров не претерпела существенных изменений. Это объясняется в основном тем, что оставались практически неизменными и в достаточной степени оптимальными принимаемый телевизионный сигнал и принцип телевизионной передачи.

Совершенствовались и изменялись главным образом компоненты и детали телевизионной аппаратуры. Первые телевизоры выпускались на лампах с металлическими баллонами (КВН-49, «Ленинград», «Темп» и др.).

Затем на схему пришли пальчиковые лампы и печатный монтаж («Темп-6», «Рубин», «Рекорд» и др.). Телевизоры, работавшие на лампах (хотя в них уже широко применялись полупроводниковые диоды), можно отнести к первому (ламповому) *поколению телевизоров.*

Появление нового активного элемента — транзистора привело к существенному изменению многих характеристик телевизоров. Резко снизилась потребляемая мощность. Выше (см. табл. 5.1) приводились значения мощности, потребляемой различными каскадами генератора строчной развертки лампового и транзисторного (с кинескопом 59ЛК2Б) телевизоров. Выигрыш, достигаемый в потребляемой мощности при переходе от ламповых телевизоров к транзисторным, увеличивается более чем в 3 раза (см. табл. 9.2).

Таблица 9.2

Телевизор	Потребляемая мощность, В · А						
	Строчная развертка	Кадровая развертка	Видеоусилитель	Канал звукового сопровождения	УПЧИ	Другие потребители	Всего
На лампах	54	25	15	25	10	31	160
На транзисторах	16	10	7	8	2	3	46

Транзисторы, обладая большим сроком службы и меньшим уровнем шумов, позволили резко повысить надежность работы телевизоров и их чувствительность. С внедрением транзисторов уменьшились габариты и масса телевизоров, появилась возмож-

ность создания портативных переносных телевизоров, питающихся от батарей.

Замена ламп транзисторами позволила говорить о появлении второго *поколения телевизоров*. Однако транзисторизация телевизоров происходила постепено. Сначала транзисторы стали вытеснять лампы в звуковом канале, в цепях синхронизации, частично в канале изображения. Поэтому именно эти лампово-полупроводниковые телевизоры (ЛПТ) стали относить к телевизорам второго поколения.

Затем были созданы телевизоры третьего поколения полностью на транзисторах. В настоящее время идет внедрение в практику новых компонентов — интегральных. Внедрение этих схем, как и внедрение транзисторов, процесс неизбежный, хотя и относительно медленный. Поэтому следует ожидать широкого появления следующих поколений телевизоров сначала с частичным применением интегральных схем в первую очередь в каналах звука и изображения, а затем и полностью на интегральных схемах.

Следует все же отметить, что в ходе развития приемных телевизионных устройств происходили некоторые изменения и их структурной схемы. Так как изображение и звук в телевидении передаются на сравнительно близких частотах (разнос частот 6,5 МГц), то для их приема целесообразно по возможности использовать общие блоки и устройства (антенну, фидер, УВЧ, гетеродин, смеситель, УПЧ и т. д.). Первоначально телевизоры строились по так называемой двухканальной схеме. Сигналы изображения и звука, принятые антенной, поступали в УВЧ и затем в смеситель, где смешивались с колебаниями местного гетеродина. Получались две промежуточные частоты: $F_{\text{пр.из}}=f_{\text{г}}-f_{\text{из}}$ и $F_{\text{пр.зв}}=f_{\text{г}}-f_{\text{зв}}$.

Далее сигналы этих промежуточных частот разветвлялись каждый по своему каналу (УПЧ изображения и УПЧ звука), откуда и произошло название — *двухканальный телевизор*. Но когда стали осваивать относительно высокочастотные каналы (6—12), то выяснилось, что устойчивость приема звукового сопровождения в таком телевизоре недостаточна. В хорошо настроенном при первоначальном включении телевизоре по мере его прогрева частота гетеродина $f_{\text{г}}$ изменялась и промежуточная частота звука выходила за пределы полосы пропускания усилителя. Звук искажался и затихал. Приходилось периодически подстраивать телевизор. Такое же явление происходило при колебаниях напряжения питающей электросети.

Для борьбы с этими явлениями было предложено построить телевизор по одноканальной схеме, т. е. после смесителя не разделять сигналы промежуточных частот изображения и звука, а направить их по одному общему широкополосному каналу.

В этом случае при детектировании принятых сигналов, кроме огибающей сигнала изображения, на нагрузке детектора, в результате детектирования биений между сигналами промежуточ-

ных частот изображения и звука, выделяется сигнал второй разностной частоты звука, равной в среднем 6,5 МГц. Так как промежуточная несущая звукового сопровождения модулирована по частоте, а промежуточная несущая изображения — по амплитуде, то сигнал разностной частоты оказывается промодулированным как по частоте, так и по амплитуде.

Усилитель сигналов изображения, пропускающий обычно полосу частот до 6 МГц, дает некоторое усиление и на частоте 6,5 МГц. В выходном или предвыходном каскаде этого усилителя сигнал разностной частоты отделяется от сигнала изображения с помощью резонансного контура. Канал звукового сопровождения, как обычно, состоит из усилителя второй промежуточной частоты звука (6,5 МГц), ограничителя, подавляющего амплитудную модуляцию, частотного детектора, выделяющего колебания звуковой частоты, и усилителя низкой частоты.

При приеме на телевизор, собранный по одноканальной схеме, уход частоты местного гетеродина вызывает одновременное изменение сигналов обеих промежуточных частот (изображения и звука). Проходя по общему широкополосному УПЧ, эти сигналы не претерпевают заметных искажений. Разность же этих частот, т. е. вторая промежуточная частота сигналов звукового сопровождения, останется неизменной и равной 6,5 МГц, так как определяется разностью частот высокостабильных передатчиков телевизионного центра. Периодической подстройки частоты гетеродина, как это делалось в двухканальных телевизорах, здесь не требуется. Кроме того, применение одноканальной схемы несколько упрощает устройство телевизора, так как позволяет обойтись одно-двухкаскадным УПЧЗ по сравнению с двумя-тремя каскадами, требуемыми двухканальным телевизорам. Канал синхронизации и блоки развертки в одноканальном телевизоре остаются такими же, как и в двухканальном.

Недостатки одноканального телевизора:

1. Отсутствует указатель точности настройки телевизора.

2. Трудно избежать прослушивания фона кадровой частоты в звуковом канале.

3. Невозможность принять на телевизионный приемник сигналы каких-либо звуковых УКВ ЧМ станций и даже сигналов звукового сопровождения телецентра, если при этом не работает передатчик изображений.

Однако эти недостатки не столь существенны, и все выпускаемые в настоящее время отечественные телевизоры построены по одноканальной схеме.

Классы телевизоров. В зависимости от технического совершенства и степени обеспечения высоких качественных показателей принимаемых сигналов изображения и звукового сопровождения телевизоры делятся на четыре класса. Наиболее совершенны телевизоры первого класса. Они имеют наибольшие размеры изображения (65—67 см), повышенную чувствительность приемной части, контрастность и яркость изображения, более высокую раз-

решающую способность, лучшее качество звучания. Телевизоры первого класса рассчитаны на прием изображений как в метровом, так и в дециметровом диапазоне волн. Они имеют пульт дистанционного управления, позволяющий включать и выключать телевизор, переключать каналы, управлять яркостью и громкостью.

Телевизоры *второго класса* имеют изображение с размером диагонали 59—61 см. Они могут быть без пульта дистанционного переключения каналов и включения—выключения телевизора. Конструкция телевизоров второго класса предусматривает возможность встраивания блока ДМВ.

К телевизорам *третьего класса* предъявляются еще более упрощенные требования. Размеры изображения у них могут быть 35—51 см. Они могут не иметь автоматической подстройки частоты гетеродина, приставки двухречевого сопровождения (ПДС), пульта дистанционного управления, стабилизации размеров строк и кадров. Все это позволяет заметно упростить схему телевизора, уменьшить его габариты и массу, снизить стоимость.

Наконец, телевизоры *четвертого класса* имеют размеры 16—32 см. К ним относятся портативные телевизоры.

Структурная схема. Сигналы изображения и звукового сопровождения, принятые антенной, поступают (рис. 9.2) в *ВЧ блок*, где усиливаются, отделяются от нежелательных сигналов, смешиваются с колебаниями местного гетеродина и преобразуются в колебания промежуточных частот.

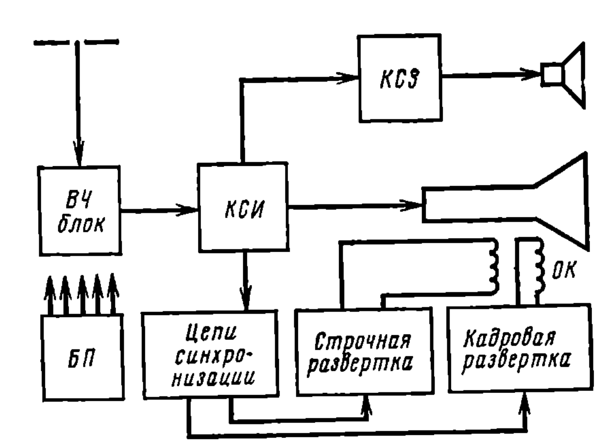


Рис. 9.2. Упрощенная структурная схема черно-белого телевизора (*БП* — блок питания, *КСЗ* и *КСИ* — каналы звука и изображения)

Колебания промежуточных частот звука вместе с колебаниями промежуточной частоты сигнала изображения поступают в общий широкополосный усилитель промежуточной частоты (УПЧ) и затем в видеодетектор. При детектировании в видеодетекторе двух сигналов промежуточных частот (изображения и звука), кроме огибающей сигнала изображения, усиливающейся и направляющейся на кинескоп, выделяется сигнал второй (разностной) промежуточной частоты звукового сопровождения (6,5 МГц). В телевизорах первого класса вторая разностная промежуточная час-

тота получается с помощью отдельного диодного детектора. Усиленные сигналы изображения, кроме кинескопа, направляются также в каскады отделения и разделения синхроимпульсов, откуда строчные и кадровые синхроимпульсы подаются на задающие генераторы соответствующих разверток (строчные — через цепи АПЧиФ). Пилообразные токи, создаваемые генераторами разверток, подаются в отклоняющие катушки, вызывая движение луча по строкам и по кадрам.

Положительные импульсы, возникающие на выходном или специальном трансформаторе строчной развертки, выпрямляются выпрямителем для получения напряжения питания второго анода кинескопа. Цепи синхронизации и разверток подробно были рассмотрены в гл. 5.

Устройство и работа телевизоров на лампах рассмотрены в литературе достаточно подробно и обстоятельно [9.1—9.9 и др.]. Значительно более слабо освещена работа транзисторных телевизоров.

В настоящее время отечественной промышленностью освоен выпуск весьма разнообразных полупроводниковых приборов, позволяющих использовать их в узлах и каскадах телевизоров. При этом транзисторные телевизоры по качественным показателям не только не уступают, но в большинстве случаев даже превосходят телевизоры на лампах. В транзисторном исполнении сейчас изготовляются как портативные переносные телевизоры, так и обычные стационарные. Ниже будем рассматривать устройство и работу узлов транзисторных телевизоров.

9.2. Селекторы каналов

Общие сведения. Селектором каналов (СК) называют высокочастотный блок телевизора, предназначенный для селекции и усиления принимаемых телевизионных сигналов и преобразования частоты этих сигналов в более низкие промежуточные частоты. В прошлом этот блок носил название переключателя телевизионных программ (ПТП), затем переключателя телевизионных каналов (ПТК). Поскольку, в случае применения электронной перестройки каналов и автоматической подстройки частоты гетеродина, высокочастотные блоки телевизоров могут быть выполнены без каких бы то ни было механических переключений, им в соответствии с ГОСТ 16706—71 присвоено более точное наименование — селекторы каналов.

В зависимости от диапазона принимаемых частот селекторы каналов подразделяются на селекторы каналов метрового диапазона СК-М и селекторы каналов дециметрового диапазона СК-Д. В последние годы созданы всеволновые селекторы (СКВ).

Для применения в телевизорах первого и второго классов разработаны селекторы СК-М-15 и СК-Д-1. При приеме в дециметровом диапазоне выход СК-Д-1 подключают к входу смесителя селектора СК-М-15, который используется как дополнительный

каскад усилителя промежуточной частоты. Подключение производится с помощью мостового устройства, что позволяет переходить с диапазона на диапазон коммутацией только анодного напряжения и напряжения АРУ.

Устройство селектора каналов. Селекторы каналов, как правило, состоят из входных цепей, усилителя высокой частоты, гетеродина и смесителя.

Входные цепи селектора. Антенна, устанавливаемая на возможно большей высоте, соединяется со входом телевизора **кабельной линией — фидером** (**коаксиальным или иногда симметричным**). При этом необходимо, чтобы входное сопротивление телевизора равнялось волновому сопротивлению фидера, и в случае применения симметричного фидера, вход телевизора был симметричным. При отсутствии согласования телевизора с фидером уменьшается мощность, поступающая в приемник, а на экране появляются повторные изображения, сдвинутые относительно основного. При нарушении симметрии фидер начинает принимать приходящие сигналы, а так как он ближе к телевизору, чем антенна, то сигналы, принятые фидером, придут к телевизору с опережением и вызовут размывание изображений.

Входные цепи селектора, обладающие резонансными свойствами, выделяют из множества наведенных в антенне сигналов нужные сигналы, а также обеспечивают согласование и правильное соединение фидера антенны с первым каскадом усилителя высокой частоты (УВЧ).

В транзисторных селекторах каналов входная цепь обычно представляет собой одиночный колебательный контур. Поскольку входное сопротивление транзисторов очень мало (раз в 10 меньше, чем у ламп), они сильно шунтируют колебательные контуры, снижая их добротность и ухудшая избирательность. Чтобы согласовать малые сопротивления транзисторов с резонансными сопротивлениями контуров, последние приходится подключать к транзисторам частично, как показано на рис. 9.3.

Рис. 9.3. Схема согласования фидера антенны и входа транзистора:
а — емкостная; *б* — емкостная и автотрансформаторная; *в* — автотрансформаторная и емкостная; *г* — автотрансформаторная

Усилитель высокой частоты (УВЧ) служит первым элементом селектора каналов. Из-за низкого входного сопротивления транзистора в диапазоне УВЧ получить полосу пропускания менее 20 МГц весьма трудно, тогда как в ламповом усилителе без труда получается полоса в 10,8 МГц и менее.

Работа усилителя высокой частоты в значительной степени зависит от внутренней обратной связи, которая в транзисторных каскадах много больше, чем в ламповых. Обратная связь приводит к неустойчивой работе усилителя и не позволяет реализовать высокие усилительные свойства транзисторов. Кроме того, она приводит к зависимости настройки усилителя от параметров отдельного экземпляра, что затрудняет серийное производство селекторов каналов. Приходится прибегать к использованию специальных схем усилителей с нейтрализацией обратной связи.

Усилители высокой частоты при наличии хороших высококачественных транзисторов собирают по схеме с общим эмиттером, при отсутствии их — по схеме с общей базой. Граничная частота в последнем случае в β раз выше, где β — коэффициент усиления транзистора по току.

При приеме слабого сигнала важным показателем каскада УВЧ является *уровень собственных шумов*.

На входе УВЧ, кроме контура, настроенного на несущую частоту принимаемого сигнала, часто устанавливают режекторные контуры, настраивающиеся на промежуточную частоту телевизора и устраняющие помехи по промежуточной частоте. Связь входного контура с антенной УВЧ селектора (рис. 9.4*а*) автотрансформаторная, с транзистором — через емкостный делитель. Для стабилизации режима обратную связь нейтрализуют с помощью конденсатора $C_н$.

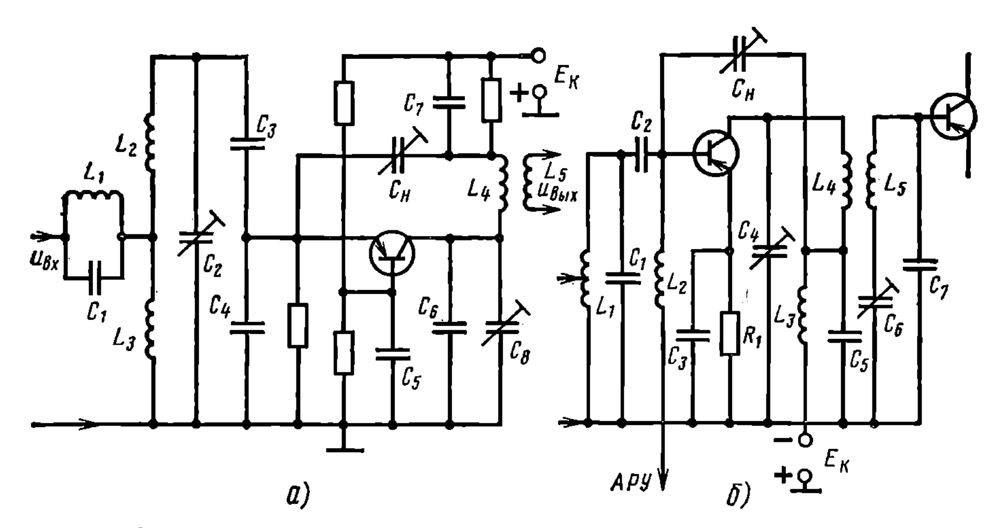


Рис. 9.4. Схема транзисторных каскадов *УВЧ*:
а — с общей базой; *б* — с общим эмиттером

В УВЧ с общим эмиттером (рис. 9.4б) связь с антенной автотрансформаторная, с транзистором УВЧ — емкостная. Нейтрализация обратной связи через входную емкость осуществляется подачей напряжения с коллекторной нагрузки в цепь базы транзистора через $C_н$. Усиление каскада регулируется смещением, подаваемым на базу транзистора от АРУ. Индуктивность L_2 устраняет взаимосвязь цепей АРУ и УВЧ.

Гетеродин генерирует колебания с частотой, как правило, более высокой, чем частоты принимаемых сигналов изображения и звука. Вследствие этого, промежуточная частота изображения оказывается выше промежуточной частоты звука, что облегчает получение широкой полосы пропускания в УВЧ изображения, лучшую защиту канала изображения от помех со стороны «зеркальных станций», а также большее усиление и лучшую избирательность по каналу звукового сопровождения.

Амплитуда и частота колебаний гетеродина должны быть стабильными при изменении напряжения источников питания и окружающей температуры.

В селекторах телевизионных каналов обычно применяются гетеродины, собранные по схеме с общей базой и емкостной обратной связью. Для повышения стабильности частоты в контуре гетеродина применяют конденсатор с соответственно подобранным температурным коэффициентом емкости. Для получения необходимых значений промежуточных частот в гетеродине должно предусматриваться плавное изменение частоты. В телевизорах старых типов эта настройка осуществлялась ручной регулировкой емкости конденсатора, входящего в колебательный контур гетеродина, в современных телевизорах это делается с помощью специального полупроводникового прибора — **варикапа, включаемого** в колебательный контур гетеродина. При изменении подводимого к варикапу напряжения изменяется его емкость, а следовательно, и частота гетеродина. Изменение напряжения на варикапе может осуществляться или вручную (потенциометром) или с помощью системы автоматической подстройки частоты гетеродина.

Смеситель. Как в любом супергетеродине, в телевизионном смесителе смешиваются колебания частоты гетеродина $f_г$ с колебаниями несущих частот сигнала изображения $f_{н.из}$ и звукового сопровождения $f_{н.зв}$. Среди прочих комбинационных частот в коллекторной цепи смесителя образуются разностные частоты $f_г - f_{н.из} = F_{пр.из} = 38$ МГц; $f_г - f_{н.зв} = F_{пр.зв} = 31{,}5$ МГц. Приведенные значения промежуточных частот установлены ГОСТ 7845—79 для отечественных телевизоров.

В транзисторных телевизорах смеситель может быть собран как по схеме с общим эмиттером, так и по схеме с общей базой, а также на диодах. Крутизна преобразования в первых двух случаях примерно одинакова. Обеспечение устойчивости работы смесителя не столь сложно, как усилителя высокой частоты, так как частоты сигналов на входе и выходе каскада весьма различны и обратная связь оказывается сильно ослабленной.

Преобразование в смесителе осуществляется подачей сигнала и напряжения гетеродина на один и тот же электрод (на эмиттер, в схеме с общей базой или на базу, в схеме с общим эмиттером) или на разные электроды (напряжение сигнала подается на базу, а напряжение гетеродина — на эмиттер в схеме с общим эмиттером, или напряжение сигнала — на эмиттер, а напряжение гетеродина — на базу в схеме с общей базой).

Селектор СК-М-15. Селектор каналов на транзисторах СК-М-15 состоит из выходной цепи с фильтром верхних частот, усилителя высокой частоты, гетеродина и смесителя (рис. 9.5).

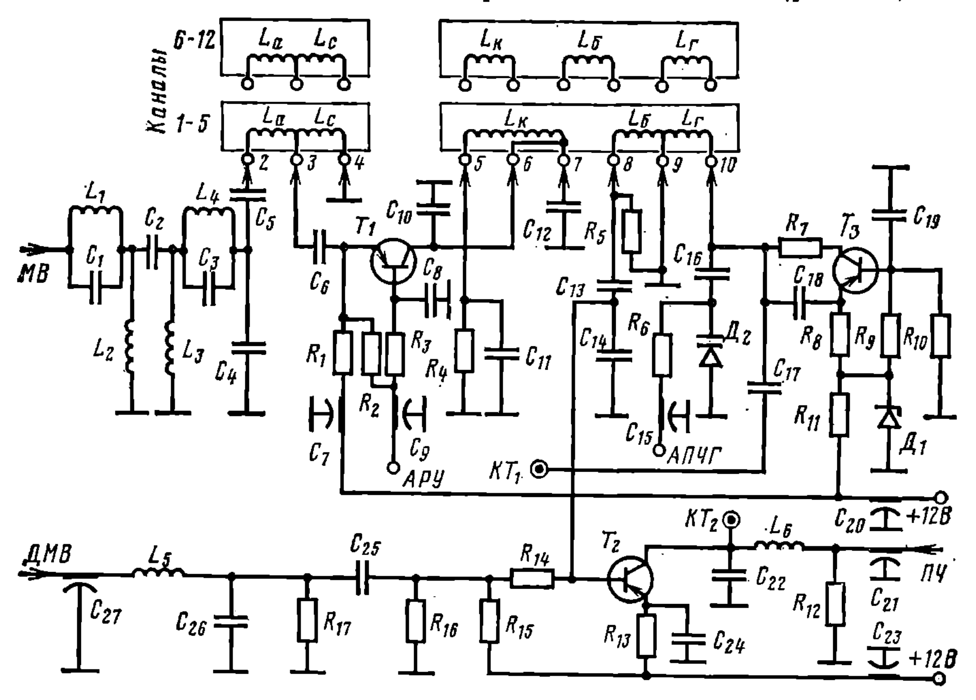


Рис. 9.5. Принципиальная схема СК-М-15

Фильтр верхних частот, состоящий из конденсаторов C_1, C_2 и C_3 и катушек L_1, L_2, L_3 и L_4, служит для подавления помех на частотах ниже частоты первого телевизионного канала, в том числе на промежуточных частотах (примерно от 0 до 40 МГц). Входную цепь селектора образуют переключаемые антенные катушки индуктивности L_a и катушки связи L_c, конденсаторы C_4, C_5, а также входная емкость транзистора T_1. Для получения требуемой полосы частот пропускания и согласования выходного сопротивления фильтра со входным сопротивлением транзистора использовано неполное автотрансформаторное включение контура.

Усилитель высокой частоты собран на транзисторе T_1 (ГТ346А) по схеме с общей базой. Сигнал на усилитель подается с части входного контура через конденсатор C_6. В цепь базы транзистора подается напряжение АРУ. В коллекторную цепь

транзистора T_1 включен колебательный контур $L_к$ (катушка коллекторной цепи) $C_{10}C_{11}$ (на каналах с первого по пятый) или полосовой фильтр $L_кC_{10}C_{11}L_6$ (катушка базовой цепи) $C_{13}C_{14}$ (на каналах с шестого по двенадцатый).

Смеситель выполнен на транзисторе T_2 (ГТ328) по схеме с общим эмиттером, а гетеродин на транзисторе T_3 (ГТ313Б) по схеме «емкостной трехточки» с общей базой. Нагрузкой смесителя является одноконтурный фильтр $L_6C_{21}C_{22}$, настроенный на промежуточную частоту и подавляющий частоту гетеродина и ее гармоники. Выходное сопротивление контура рассчитано на подключение УПЧ с входным сопротивлением 75 Ом. Частота гетеродина определяется параметрами контура $L_г$ (катушка гетеродинная) C_{16} и емкостью варикапа $Д_2$ (Д902), который обеспечивает плавное изменение частоты гетеродина при подаче на варикап через R_6 управляющего напряжения. При управляющем напряжении, равном 5 В, частота гетеродина соответствует номинальному значению. При изменении напряжения от 1 до 11 В частота гетеродина изменяется в пределах $\pm 1{,}5$ МГц. Напряжение питания коллекторной цепи гетеродина стабилизировано стабилитроном $Д_1$ (Д809). Резисторы R_7, R_8, R_9, R_{10} определяют режим транзистора гетеродина по постоянному току.

Величина положительной обратной связи между коллектором и эмиттером транзистора T_3 определяется емкостью конденсатора C_{18}. В цепь базы смесителя включен контур $L_5C_{25}C_{26}C_{27}R_{17}$, предназначенный для подключения выхода блока СК-Д-1. Подстройкой этого контура можно скорректировать амплитудно-частотную характеристику блока СК-Д-1 при его подключении к блоку СК-М-15. Это позволяет принимать программы в дециметровом диапазоне волн при любом положении барабана блока СК-М-15.

Питание коллекторной цепи смесителя осуществляется через отдельный вывод на блоке, что позволяет отключить питание от УВЧ и гетеродина, используя смеситель блока СК-М-15 как дополнительный усилитель промежуточной частоты.

Селектор диапазона ДМВ. В диапазоне ДМВ для приема телевизионных изображений используют колебательные системы с распределенными параметрами. Обычные контуры с сосредоточенными параметрами в этом диапазоне имеют чрезвычайно малые значения элементов. Добротность контуров получается низкой, а параметры трудно повторяемыми. Настройка таких контуров оказывается весьма сложной.

В цепях с распределенными параметрами любой отрезок линии имеет индуктивность, емкость и активное сопротивление, распределенные равномерно по всей длине провода. Геометрическая длина такой линии соизмерима с длиной волны. Напряжение и ток в цепях с сосредоточенными параметрами распространяются по всей цепи за время, много меньшее, чем период собственных колебаний. В цепях же с распределенными параметрами время распространения тока и напряжения по линии соизмеримо с периодом колебаний.

Отрезок линии длиной в четверть волны, замкнутый накоротко, или в полволны, разомкнутый на конце, может вести себя как обычный колебательный контур при резонансе токов. Геометрическую длину такой линии можно уменьшить подключением конденсаторов к ее разомкнутым концам. Конденсатор переменной емкости, позволит настраивать этот колебательный контур на необходимую частоту.

Принять телевизионные сигналы в диапазоне ДМВ можно двумя способами:

1. Создать специальный СВЧ блок — СК-Д, обеспечивающий преобразование принимаемых сигналов ДМВ в сигналы промежуточных частот (38,0 и 31,5 МГц), которые можно направить в УПЧ обычного телевизора.

2. Создать СВЧ блок—конвертор, преобразующий частоты диапазона ДМВ в частоты одного из свободных в данной местности телевизионных каналов метрового диапазона волн.

Первый способ может быть реализован только в телевизорах, в которых установлено или хотя бы предусмотрено устройство селектора каналов дециметрового диапазона волн. Если такое устройство не предусмотрено, то осуществить прием сигналов будет весьма сложно. Например, оказалось, что усиления сигнала, даваемого УПЧ телевизора, при приеме этим способом недостаточно. Для повышения усиления было предложено получающийся в СК-Д сигнал промежуточной частоты подавать не на вход УПЧ, а на вход смесителя СК-М, отключая при этом питание с УВЧ и гетеродина.

Второй способ приема может быть осуществлен в любом телевизоре. Необходимый для этого специальный блок-приставка П-СК-Д-3 разработан и выпускается отечественной промышленностью. Он пригоден для приема на любой телевизор.

Селектор СК-Д-1. Селектор каналов дециметрового диапазона (рис. 9.6) собран на двух транзисторах — T_1 и T_2. Первый

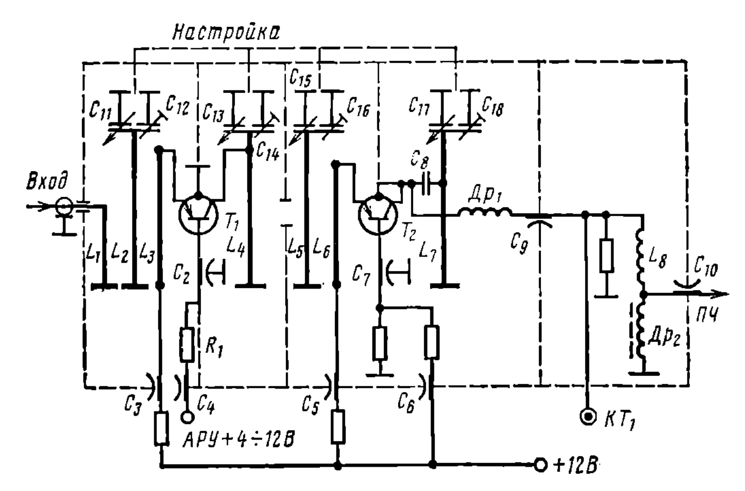


Рис. 9.6. Принципиальная схема селектора каналов СК-Д-1

транзистор работает как усилитель высокой частоты, второй — как автогенерирующий смеситель. В качестве колебательных контуров применены четвертьволновые отрезки длинных линий $L_2L_4L_5L_7$. Сигнал от антенны по коаксиальному кабелю с волновым сопротивлением 75 Ом с помощью петли связи L_1 подается на входной контур $L_2C_{11}C_{12}$, который петлей связи L_3 связан с цепью эмиттера транзистора T_1 (ГТ346А) усилителя высокой частоты. В коллекторную цепь этого транзистора включен полосовой фильтр, образованный двумя четвертьволновыми отрезками длинных линий $L_4C_{13}C_{14}$ и $L_5C_{15}C_{16}$.

Для обеспечения требуемой полосы пропускания и избирательности связь между этими контурами установлена выше критической. Она осуществляется через щель в перегородке между камерами, в которых они смонтированы. В цепь базы транзистора T_1 через резистор R_1 подается напряжение, автоматически регулируемое в пределах 4—12 В.

Полосовой фильтр связан со смесителем посредством индуктивной петли связи L_6.

Автогенерирующий смеситель собран на транзисторе T_2 (ГТ346Б) по схеме «емкостной трехточки», в которой связь между коллектором и эмиттером осуществляется через межэлектродную емкость $C_{э.к}$. Для увеличения этой связи к коллектору подключен вывод корпуса транзистора.

Контур смесителя $L_7C_{17}C_{18}$ включен в коллекторную цепь транзистора T_2 через разделительный конденсатор C_8. Сигнал промежуточной частоты выделяется в контуре, образованном элементами L_8, C_9 и C_{10} выходной цепи блока, рассчитанной на подключение ко входу смесителя селектора каналов метрового диапазона СК-М-15, который в этом случае используется как дополнительный каскад усилителя промежуточной частоты.

Селектор СК-В-1 — первый отечественный всеволновый селектор каналов. Он объединяет в одном корпусе два отдельных селектора МВ и ДМВ. Селектор метровых волн имеет три поддиапазона. Первый включает I—II каналы (48,5—66 МГц); второй III—V каналы (76—100 МГц); третий — VI—XII каналы (174—230 МГц). Селектор не имеет механических переключающих устройств и органов настройки.

Коммутация резонансных контуров осуществляется переключением катушек индуктивности резонансных контуров с помощью коммутационных ВЧ диодов КД409А. Плавная настройка в пределах каждого поддиапазона производится с помощью варикапов КВ109В.

Селектор каналов МВ состоит из трех каскадов: усилителя высокой частоты T_2 (ГТ364А), смесителя T_4 (ГТ328А) и гетеродина T_5 (ГТ313Б). Все каскады собраны по схеме с общей базой.

Дециметровая часть СК-В предназначена для приема телевизионных сигналов в диапазоне частот 470—790 МГц и преобразования их в сигнал промежуточной частоты. Селектор ДМВ состоит из двух каскадов: усилителя высокой частоты и смесителя,

работающего в режиме самовозбуждения. Оба каскада собраны на транзисторах ГТ346А по схеме с общей базой.

Для выравнивания коэффициентов усиления селектора в диапазоне МВ и ДМВ смеситель метровой части при приеме в диапазоне ДМВ используется в качестве дополнительного каскада усилителя промежуточной частоты.

Селектор СК-В-2 представляет собой последующую разработку всеволнового селектора каналов с электронной перестройкой и состоит из двух селекторов — СК-М-23 и СК-Д-22. Селектор СК-М-23 отличается от метровой части СК-В-1 наличием только двух поддиапазонов вместо трех, перекрывающих I—V и VI—XII телевизионные каналы. Для каждого поддиапазона селектор имеет отдельный УВЧ и гетеродин, работающие на общий смеситель. Это упрощает систему переключения поддиапазонов (нужно лишь подать на соответствующие каскады напряжение +12 В).

По схеме СК-Д-22 аналогичен дециметровой части СК-В-1. В него введены лишь некоторые конструктивные изменения.

9.3. Канал сигнала изображения

Усилитель промежуточной частоты (УПЧ). Основное усиление в супергетеродинных телевизионных приемниках происходит на промежуточной частоте. Поэтому именно свойства УПЧ определяют чувствительность телевизора, его избирательность, а в конечном счете и качество изображения. Как уже говорилось выше, в современных одноканальных телевизорах через УПЧ проходят и усиливаются сигналы промежуточной частоты как изображения, так и звукового сопровождения. Характерной чертой этого усилителя является широкая полоса усиливаемых частот (5, 6 МГц и более). Для облегчения пропускания столь широкой полосы частот, ослабления зеркальных помех и улучшения условий работы видеодетектора желательно, чтобы несущая промежуточная частота сигнала изображения была возможно выше. Эта частота для отечественных телевизоров установлена равной 38 МГц. Несущая промежуточная частота сигнала звукового сопровождения при этом равна 31,5 МГц.

Как было показано в начале главы, для получения на экране телевизора изображения без снижения четкости и обеспечения высокой избирательности (отсутствия помех со стороны других станций) амплитудно-частотная характеристика УПЧ должна иметь форму, изображенную на рис. 9.1. Кроме того, для нормального приема сигналов звукового сопровождения в телевизоре, построенном на одноканальной схеме, необходимо чтобы амплитудно-частотная характеристика УПЧ в области промежуточной частоты звука имела ровную площадку на уровне 0,1—0,05 от уровня в полосе пропускания. Такая площадка необходима, чтобы предотвратить появление паразитной амплитудной модуля-

ции в сигнале звукового сопровождения и, вследствие этого, помех на изображении от сигнала звука.

Получение в телевизоре высокой избирательности и одновременно высокой четкости в известной степени противоречит одно другому.

Расширение полосы усиливаемых частот УПЧ влечет за собой увеличение четкости, но избирательность при этом снижается, и наоборот. При увеличении полосы пропускаемых частот и одновременном стремлении повысить избирательность амплитудно-частотная характеристика усилителя приближается к прямоугольной. Это вызывает фазовые искажения, причем они тем больше, чем круче склоны этой характеристики. Особенно опасны искажения такой характеристики в области расположения несущей частоты сигнала изображения, т. е. вблизи 38 МГц.

Усилитель промежуточной частоты телевизора должен, с одной стороны, без искажений и подавления усиливать принимаемые сигналы, с другой стороны, должен подавить сигналы от всевозможных источников радиопомех. Вне полосы пропускания УПЧ, но вблизи от нее, наряду со случайно оказавшимися источниками помех, находятся и могут создавать помехи следующие передатчики:

передатчик сигналов звукового сопровождения нижнего соседнего телевизионного канала, отличающийся по частоте от несущей принимаемого сигнала изображения на 1,5 МГц и дающий в результате биений с колебаниями гетеродина промежуточную частоту 39,5 МГц;

принимаемый передатчик сигналов звукового сопровождения, отличающийся по частоте от несущей передатчика сигнала изображения выше на 6,5 МГц (по промежуточной частоте ниже на 6,5 МГц, т. е. на частоте 31,5 МГц);

передатчик сигналов изображения верхнего соседнего телевизионного канала, отличающийся по частоте от несущей принимаемого сигнала изображений на 8 МГц и дающий при смешении с колебаниями гетеродина промежуточную частоту 30 МГц.

Чтобы защититься от проникновения помех на выход телевизора, в УПЧ, кроме обычных контуров и фильтров, пропускающих нужные сигналы и формирующих полосу пропускания, применяют еще *режекторные*[1] *фильтры*. Схемы наиболее часто применяемых режекторных фильтров приведены на рис. 9.7. Как известно, сопротивление последовательного контура *LC* (рис. 9.7*а*) на резонансной частоте равно нулю и, следовательно, выход фильтра для этой частоты будет закорочен; сигналы этой частоты будут сильно ослаблены.

Сопротивление параллельного контура *LC* (рис. 9.7*б*) на резонансной частоте весьма велико (теоретически в контуре без потерь оно равно бесконечности). Поэтому контур, включенный

---

[1] Rejection (англ.) — заграждение.

в цепь последовательно по схеме «фильтра-пробки», сильно ослабит на выходе колебания, близкие к резонансной частоте.

Для режекции может быть использован и параллельный контур L_1C_1, индуктивно связанный с основным контуром усилителя

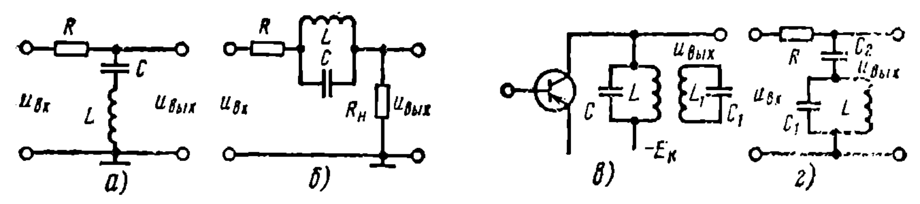


Рис. 9.7. Основные типы режекторных контуров:
а — закорачивающий; *б* — фильтр-пробка; *в* — отсасывающий; *г* — двухрезонансный

(рис. 9.7*в*). На резонансной частоте контур L_1C_1 отбирает от основного контура максимальную энергию, соответственно уменьшая усиление каскада на этой частоте.

Фильтр, схема которого изображена на рис. 9.7*г*, выполняет функции двух контуров. Параллельный контур LC_1 участвует в формировании амплитудно-частотной характеристики УПЧ в полосе пропускания. На частотах ниже резонансной он обладает индуктивным сопротивлением, которое с конденсатором C_2 образует последовательный контур. Резонанс этого контура используется для режекции мешающих сигналов. Так как резонансная частота последовательного контура ниже, чем параллельного, то этот фильтр можно использовать только для формирования левого склона амплитудно-частотной характеристики УПЧ. Крутизну этого склона при оптимальном соотношении C_1 и C_2 можно получить весьма большой (рис. 9.8).

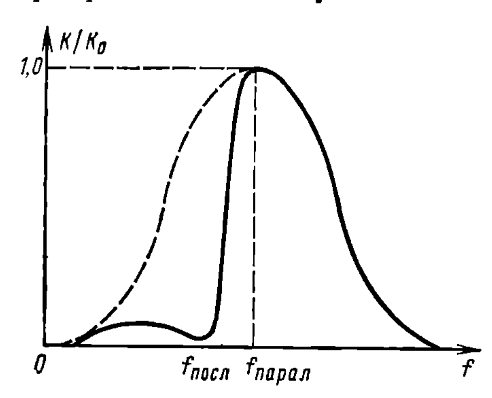


Рис. 9.8. Амплитудно-частотная характеристика

Хотя задачи, стоящие перед ламповыми и транзисторными УПЧ, по существу совпадают, но в их работе, устройстве и параметрах имеются существенные различия, вызванные особенностями свойств транзисторов и ламп. Транзисторы имеют значительно бóльшие разбросы параметров, чем лампы (особенно в отношении входных и выходных емкостей, которые к тому же сильно изменяются при изменении температуры, а также под действием напряжения АРУ). Коэффициент усиления каскада на транзисторе ниже, чем на лампе. Разброс параметров транзисторов приводит к необходимости иметь запас усиления в случае

их замены при ремонте. Транзисторный селектор каналов имеет меньшее усиление, чем ламповый. Вследствие всего сказанного, число каскадов в УПЧ на транзисторах приходится брать большим, чем в усилителе на лампах (3—5 каскадов).

В ламповых УПЧ необходимая избирательность достигается, как правило, путем использования резонансных систем во всех каскадах усилителя. Такой метод формирования амплитудно-частотной характеристики в транзисторных телевизорах применяется довольно редко. Дело в том, что малые входные и выходные сопротивления транзисторов (раз в 10 меньше, чем у ламп) сильно шунтируют колебательные контуры и этим снижают их добротность, ухудшают избирательность. Приходится на входе УПЧ включать специальную фильтрующую систему — фильтр сосредоточенной селекции (ФСС). Это фильтр объединяет в одном узле несколько контуров, которые обеспечивают формирование необходимой амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик усилителя.

Резонансные системы каскадов УПЧ, выполненные в виде одиночных колебательных контуров или двухконтурных полосовых фильтров, настроенных на среднюю частоту полосы пропускания усилителя, не могут защитить телевизор от проникновения помех. Эту функцию выполняет ФСС, включающий в себя сложную комбинацию пропускающих и режекторных фильтров.

Рассмотрим в качестве примера ФСС, приведенный на рис. 9.9*а*. С выхода СК-М-15 сигналы промежуточных частот поступают на ФСС и далее на вход УПЧ. Режекция помех на частоте

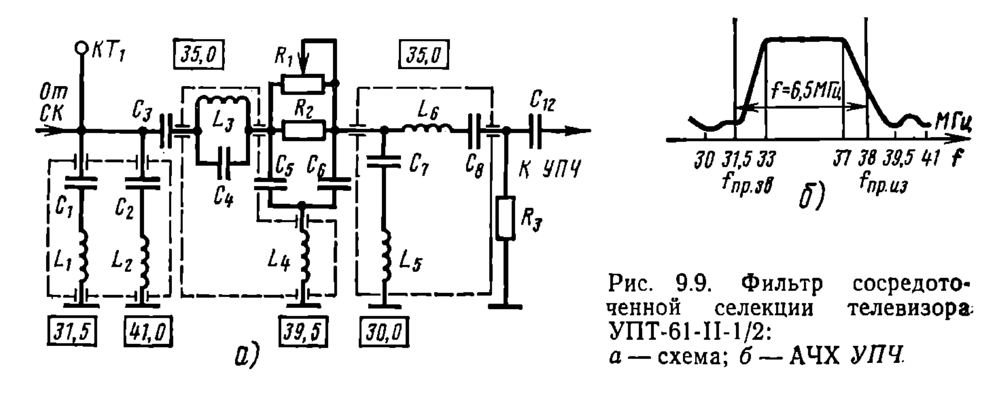


Рис. 9.9. Фильтр сосредоточенной селекции телевизора УПТ-61-II-1/2:
а — схема; *б* — АЧХ *УПЧ*

31,5 МГц достигается при помощи последовательного контура L_1C_1, на частоте 41 МГц — при помощи контура L_2C_2, на частоте 30 МГц — при помощи контура L_5C_7 и на частоте 39,5 МГц — при помощи режекторного Т-образного мостового устройства, включающего в себя элементы R_1, R_2, C_5, C_6 и L_4. Плоская часть амплитудно-частотной характеристики формируется контурами $L_3C_3C_4$ и L_6C_8.

В телевизорах с ФСС упрощается настройка УПЧ, так как его каскады имеют широкую полосу частот пропускания, не требуют

очень точной настройки и не расстраиваются при смене транзисторов во время ремонта.

Каскады УПЧ при наличии достаточно высокочастотных транзисторов строят по схеме с общим эмиттером, в противном случае — по схеме с общей базой. Схема с ОЭ дает большее усиление, что повышает чувствительность телевизора, но при этом граничная частота в β раз меньше и требуется нейтрализация паразитных обратных связей. Эта нейтрализация в УПЧ осуществляется примерно так же, как и в селекторах каналов, а именно при помощи внешней обратной связи между коллектором и базой транзистора. Наиболее часто применяемые схемы нейтрализации показаны на рис. 9.10.

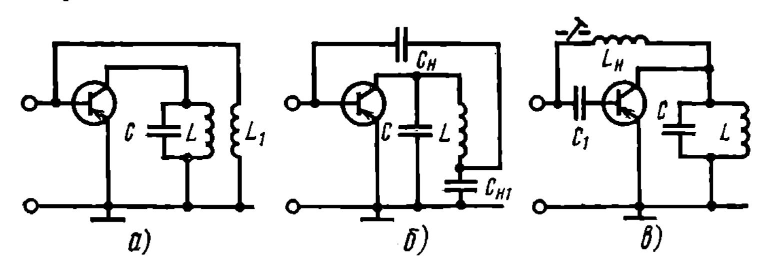


Рис. 9.10. Основные схемы нейтрализации каскадов *УПЧ*: *а* — трансформаторная; *б* — емкостная; *в* — индуктивная

Для согласования каскадов УПЧ используют три типа схем: трансформаторную, автотрансформаторную и емкостную. Чаще всего последнюю как наиболее простую.

Рассмотрим в качестве примера принципиальную схему усилителя промежуточной частоты телевизора УТП-61-II-1/2 (рис. 9.11). С выхода ФСС сигналы промежуточной частоты изображения и звукового сопровождения поступают в цепь базы транзистора T_1 (ГТ328Б) первого каскада УПЧ, выполненного по схе-

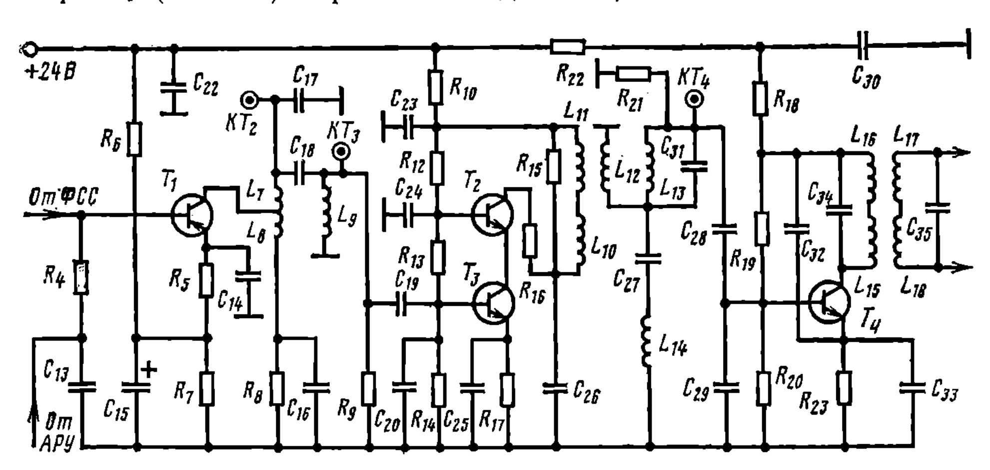


Рис. 9.11. Принципиальная схема *УПЧ* телевизора УПТ-61-II-1/2

ме с общим эмиттером. Через резистор R_4 в цепь базы транзистора подается положительное напряжение АРУ.

В цепь эмиттера транзистора T_1 включен делитель, образованный резисторами R_5, R_6, R_7 и обеспечивающий требуемый режим изменения тока и напряжения в цепи коллектора транзистора при изменении напряжения в цепи его базы в результате действия АРУ.

Нагрузкой первого каскада служит полосовой фильтр с внешней емкостной связью $L_7L_8C_{17}C_{18}L_9$.

Второй каскад собран по каскодной схеме ОЭ—ОБ на транзисторах T_2 и T_3 (КТ315А). Сигнал на вход каскада для согласования подается с емкостного делителя C_{19} и C_{20}. Режим по постоянному току определяется резисторами R_{12}, R_{13}, R_{14} и R_{17}. Конденсаторы C_{23}, C_{24}, C_{25} развязывающие. В коллекторной цепи второго каскада усилителя включен двухконтурный полосовой фильтр $L_{10}L_{11}C_{26}$ и $L_{12}L_{13}C_{28}C_{29}C_{31}$, настроенный на среднюю частоту полосы пропускания УПЧ. Последовательная цепь, состоящая из L_{14} и C_{27}, представляет собой режекторный фильтр, настроенный на частоту 40,5 МГц.

Третий каскад собран на транзисторе T_4 (КТ339А) по схеме с ОЭ.

Режим работы транзистора T_4 по постоянному току определяется резисторами R_{18}, R_{19} и R_{20}, включенными в цепь его базы, и резистором R_{23} — в цепь его эмиттера. Конденсаторы C_{30}, C_{32} и C_{33} развязывающие по переменному току.

Нагрузкой третьего каскада УПЧ служит полосовой двухконтурный фильтр $L_{15}L_{16}C_{34}$ и $L_{17}L_{18}C_{35}$. Связь между контурами — индуктивная. Ко второму контуру фильтра подключен видеодетектор (на рис. 9.11 не показан, см. рис. 9.13).

Видеодетектор и усилитель сигналов изображения. В качестве видеодетектора даже в ламповых телевизорах обычно применяют однополупериодные выпрямители на точечных германиевых диодах. Из-за очень широкой полосы частот сигнала изображения, получающегося в результате детектирования, нагрузку детектора берут сравнительно малой — 2—3 кОм. Меняя направление включения диода, можно получить позитивный или негативный сигнал на выходе детектора.

Для устранения из полученного при детектировании сигнала изображения высокочастотных компонентов и предохранения от самовозбуждения усилительного тракта телевизора нагрузку видеодетектора шунтируют конденсатором небольшой емкости (10—20 пФ) или включают на выходе детектора специальный фильтр, состоящий из дросселя и конденсаторов.

Работа видеодетектора в транзисторном телевизоре существенно не отличается от его работы в телевизоре на лампах. Однако все же кое-какая специфика в их работе имеется. Входное сопротивление транзисторного видеоусилителя значительно ниже, чем лампового. Детектор, нагруженный на такой транзисторный видеоусилитель, сильно шунтирует последний каскад УПЧ и сни-

жает его усиление. Поэтому в транзисторных видеоусилителях стараются путем выбора схемы и режима работы получить возможно более высокое входное сопротивление.

Для нормальной модуляции кинескопа размах сигнала изображения от уровня черного до уровня белого должен быть около 40—50 В (у малогабаритных кинескопов — 15—20 В). Получить такой размах сигнала с одним каскадом видеоусилителя, как это делается в ламповых телевизорах, в транзисторных телевизорах затруднительно. Приходится применять два и более каскадов. Причины этого — большая внутренняя обратная связь, низкие значения входных сопротивлений, значительная зависимость характеристик транзисторов и коэффициента усиления от частоты сигнала и окружающей температуры.

Как в каскадах видеоусилителя, так и в цепи детектора производится коррекция амплитудно-частотной характеристики в области верхних и нижних частот. Снижение усиления на высоких частотах в таких видеоусилителях происходит из-за внешних паразитных емкостей, входной и выходной емкостей транзисторов. На низких частотах сигнал ослабляется из-за переходных конденсаторов усилителя. В транзисторных видеоусилителях переходные конденсаторы должны быть значительно большей емкости, чем в ламповых, так как их входные и выходные сопротивления существенно меньше. Степень коррекции транзисторных

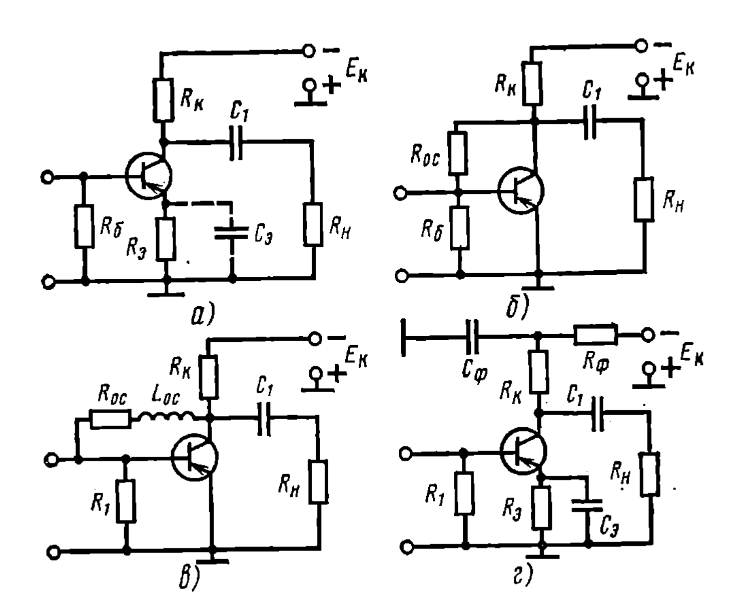


Рис. 9.12. Схемы частотной коррекции видеоусилителей:
а — высокочастотная коррекция за счет резистора в цепи эмиттера (он может быть зашунтирован соответственно подобранным конденсатором); *б* — высокочастотная коррекция с помощью обратной связи по напряжению через резистор; *в* — высокочастотная коррекция с помощью обратной связи по напряжению через резистор $R_{о.с}$ и индуктивность $L_{о.с}$; *г* — низкочастотная коррекция из-за цепочки $R_ф C_ф$

УВС должна быть выше, чем в ламповых, так как искажения амплитудно-частотной характеристики в них больше.

Для коррекции амплитудно-частотных искажений транзисторных видеоусилителей большей частью применяется отрицательная обратная связь. Основные схемы коррекции показаны на рис. 9.12. Кроме того, как и в ламповых усилителях, в транзисторных видеоусилителях успешно применяются схемы высокочастотной коррекции с помощью дросселей, включаемых последовательно с нагрузочными резисторами.

Коррекция амплитудно-частотной характеристики в области низких частот осуществляется, как обычно, путем включения последовательно с резистором коллекторной нагрузки дополнительного *RC*-фильтра. При понижении частоты сопротивление конденсатора растет, а его шунтирующее действие падает. Общая нагрузка каскада и его усиление возрастают.

Наиболее часто в транзисторных видеоусилителях используют два каскада: предварительный и выходной. В предварительном каскаде УВС транзистор включают по схеме эмиттерного повторителя, так как такая схема обладает высоким входным сопротивлением.

Рассмотрим схему видеодетектора и двухкаскадного видеоусилителя, используемых в унифицированном полупроводниковом телевизоре УПТ-61-II-1/2 (рис. 9.13).

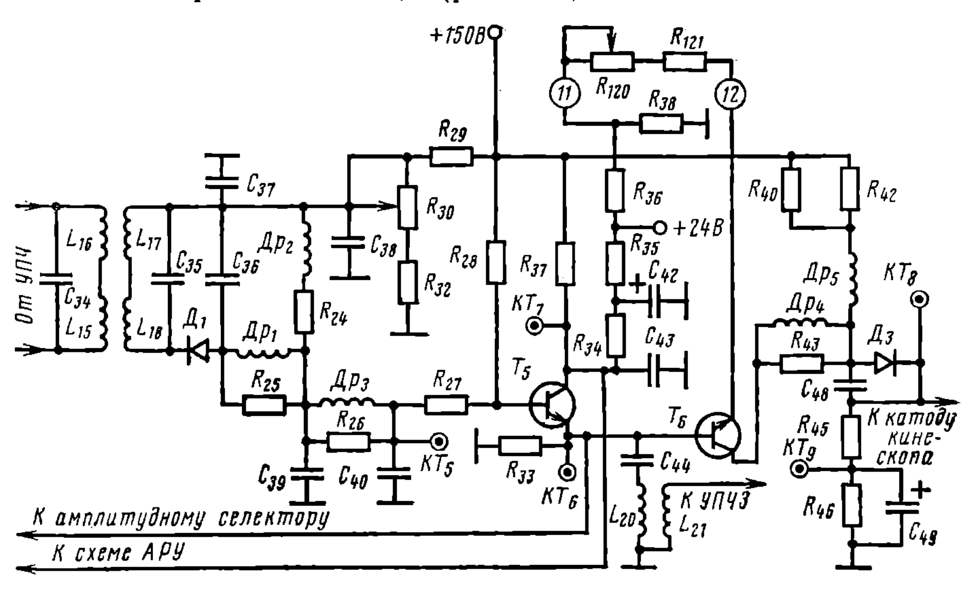


Рис. 9.13. Принципиальная схема видеодетектора и видеоусилителя телевизора УПТ-61-II-1/2

Полосовой фильтр, образованный катушками индуктивности L_{15}, L_{16} и конденсатором C_{34} (первый контур), L_{17}, L_{18} и C_{35} (второй контур) служит нагрузкой третьего каскада УПЧ (на рис.

9.13 не показан, см. рис. 9.11). Связь между контурами индуктивная. Ко второму контуру полосового фильтра подключен видеодетектор на диоде $Д_1$ с резистором нагрузки R_{24} и корректирующими дросселями $Др_1$ и $Др_2$. Для снижения добротности и получения более равномерной частотной характеристики $Др_1$ зашунтирован резистором R_{25}. На нагрузке видеодетектора, кроме сигналов изображения, выделяются сигналы второй промежуточной (разностной) частоты звукового сопровождения — 6,5 МГц. Оба эти сигнала с нагрузки детектора подаются в цепь базы транзистора T_5 — первого каскада видеоусилителя.

Этот усилитель — двухкаскадный, с непосредственной связью между каскадами. Первый каскад собран на транзисторе КТ315Г по схеме с нагрузкой в цепи эмиттера и коллектора транзистора, а второй — на транзисторе T_6 (КТ604Б) по схеме с ОЭ. С резистора эмиттерной нагрузки R_{33} транзистора T_5 сигнал поступает на базу транзистора T_6 и амплитудный селектор, а с резистора коллекторной нагрузки R_{37} — на цепи АРУ.

В эмиттерную цепь транзистора T_5 включен режекторный контур $L_{20}C_{44}$, настроенный на частоту 6,5 МГц. Режектированный сигнал разностной частоты через катушку связи L_{21} подается в УПЧЗ.

Режим работы транзистора T_5 определяется делителем напряжения в цепи его базы и резистором R_{33} в цепи его эмиттера. Напряжение в цепь базы транзистора T_5 подается с делителя, образованного резисторами R_{29}, R_{30} и R_{32}, через нагрузку видеодетектора R_{24} и может регулироваться потенциометром R_{30}.

Коллекторная цепь T_5 питается от двух источников: напряжением 150 В через резистор R_{37} и 24 В через резисторы R_{34} и R_{35}. Такой способ питания позволяет скомпенсировать изменение коллекторного напряжения при изменении размаха сигнала.

Цепь базы транзистора T_6 непосредственно (без переходных конденсаторов) связана с цепью эмиттера транзистора T_5, поэтому режим работы второго каскада видеоусилителя определяется режимом работы его первого каскада.

В цепь эмиттера транзистора T_6 включены резисторы R_{38}, R_{120} и R_{121}, образующие цепь отрицательной обратной связи. Регулировка контрастности осуществляется изменением глубины ООС в выходном каскаде с помощью потенциометра R_{120}.

В цепь коллектора транзистора T_6 включена нагрузка видеоусилителя, состоящая из резисторов R_{40} и R_{42} и дросселей $Др_4$ и $Др_5$, предназначенных для коррекции амплитудно-частотной характеристики.

С нагрузки видеоусилителя сигнал подается на катод кинескопа через цепочку ограничения тока луча кинескопа (элементы $Д_3$ и C_{48}) и схему защиты экрана от прожога люминофора при выключении телевизора (элементы R_{43}, R_{46} и C_{49}).

Автоматическая регулировка усиления. При эксплуатации телевизоров контрастность принимаемых изображений может претерпевать нежелательные изменения, что портит впечатление от

изображения. Изменение размаха сигнала изображения на выходе телевизора и вызванное этим изменение контрастности изображения может происходить, например, при переходе с приема одной программы на другую (из-за различной мощности передатчиков или из-за различного их удаления от приемника).

Уровень сигнала на входе телевизора может изменяться при изменении условий распространения радиоволн. В частности, нередко наблюдаются колебания напряжения на входе телевизора $U_{вх}$ при приходе и сложении с основным принимаемым сигналом сигналов, отраженных от пролетающих самолетов, движущихся башенных кранов и т. п. Чтобы избавиться от этих нежелательных колебаний, необходимо поддерживать напряжение на выходе телевизора постоянным, т. е. поддерживать $U_{вых}=KU_{вх}=\text{const}$, где K — общий коэффициент усиления телевизора.

Добиться постоянства $U_{вых}$ ручной регулировкой K практически невозможно. Это осуществляется при помощи автоматической системы.

Сделать АРУ в телевизоре по такому же принципу, как это делается в обычных вещательных радиоприемниках, а именно поддерживать на неизменном уровне постоянную составляющую принимаемого сигнала — невозможно, так как в телевидении постоянная составляющая меняется с изменением средней яркости передаваемого изображения. Для устройства в телевизоре АРУ необходимо было найти какой-то уровень, изменение которого можно было использовать для регулировки коэффициента усиления телевизора и таким образом поддерживать неизменной контрастность изображения.

В качестве такого уровня оказалось удобным использовать уровень вершин синхроимпульсов. В этом случае в качестве простейшего устройства АРУ может служить *пиковый детектор*, т. е. детектор с достаточно большой постоянной времени нагрузки $\tau=RC\gg T_{стр}$. Если телевизионный сигнал промежуточной частоты, поданный на вход детектора (рис. 9.14), пропустить через такой детектор, то конденсатор C во время синхроимпульсов будет

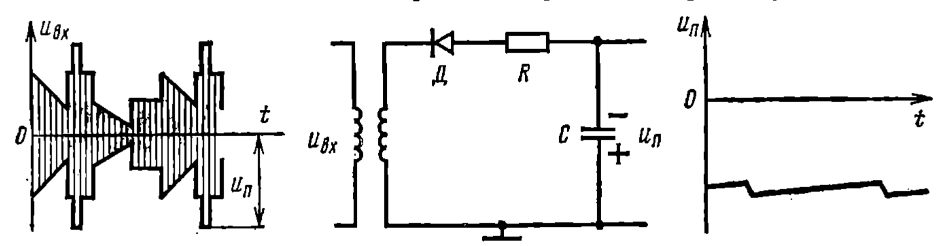


Рис. 9.14. Пиковый детектор и напряжения на его входе и выходе

заряжаться до пикового значения сигнала того или иного знака в зависимости от полярности включения диода и незначительно разряжаться в промежутке между ними. Это напряжение на конденсаторе и можно использовать в качестве управляющего нап-

ряжения АРУ. При полярности включения диода, показанной на рис. 9.14, на конденсаторе образуется отрицательное напряжение, которое может быть подано в качестве смещения на сетки ламп УВЧ и УПЧ. При возрастании сигнала на входе телевизора отрицательное смещение на сетках ламп будет увеличиваться, их рабочие точки перейдут в области с меньшей крутизной, усиление каскадов упадет, напряжение сигнала на выходе телевизора останется неизменным.

Система АРУ с пиковым детектором обладает существенным недостатком — она очень чувствительна к действию помех. При попадании в канал изображения интенсивной импульсной помехи она снижает усиление каскадов усилительного тракта и портит изображение. Из-за этого недостатка АРУ с пиковым детектором в чистом виде не получили применения.

В значительной степени свободны от этого недостатка *ключевые цепи АРУ*. В этих цепях управляющее напряжение для регулировки усиления каскадов высокой и промежуточной частот вырабатывается с помощью запертого (ключевого) усилителя, который открывается импульсами обратного хода строчной развертки, снимаемыми со специальной обмотки выходного строчного трансформатора.

В транзисторных телевизорах применяют два способа АРУ: *прямой и обратный*. Первый способ состоит в том, что при увеличении сигнала на базу регулируемого транзистора подается напряжение, которое его сильнее открывает. При этом увеличиваются эмиттерный и коллекторный токи, которые, протекая по резисторам этих цепей, создают на них большие падения напряжения и тем самым уменьшают напряжение между коллектором и эмиттером, в результате чего усиление уменьшается.

При втором способе АРУ с возрастанием сигнала АРУ вырабатывает напряжение, которое смещает рабочую точку в область малых токов коллектора, и усиление транзистора снижается. Например, для транзистора с проводимостью *p-n-p* с увеличением сигнала на его базу должно поступать большее положительное напряжение, коллекторный ток при этом падает, почему данная схема и получила название *схемы АРУ в обратном направлении*.

Рассмотрим в качестве примера ключевую схему АРУ, использованную в унифицированном полупроводниковом телевизоре УПТ-61-II-1/2.

Схема АРУ этого телевизора (рис. 9.15) состоит из ключевого каскада *КК*, выполненного на транзисторе T_8 (КТ315Г), сглаживающего фильтра $R_{63}C_{59}$ и усилителя постоянного тока УПТ на транзисторе T_{10} (КТ315Г).

В цепь базы транзистора T_8 с нагрузки первого каскада видеоусилителя через резистор R_{59} подается полный телевизионный сигнал положительной полярности. В цепь коллектора транзистора T_8 через конденсатор C_{57} и диод $Д_5$ подаются положительные импульсы обратного хода строчной развертки. При совпадении во времени импульсов обратных ходов строчной развертки и строч-

ных синхроимпульсов цепи коллектора транзистора протекает ток, пропорциональный размаху входного сигнала.

Напряжение отпирания транзистора T_8 регулируется потенциометром R_{62} УСТАНОВКА АРУ, которым изменяется напря-

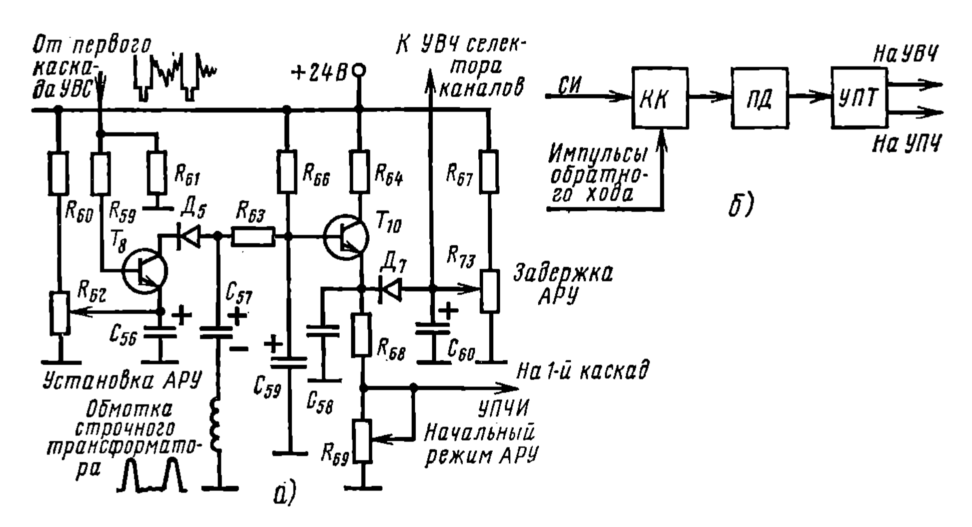


Рис. 9.15. Система АРУ унифицированного полупроводникового телевизора ПТ-61-II-1/2:
а — структурная схема; *б* — принципиальная (*СИ* — сигнал изображения, *КК* — ключевой каскад, *ПД* — пиковый детектор, *УПТ* — усилитель постоянного тока)

жение на эмиттере транзистора. Во время прохождения тока по цепи коллектора транзистора T_8 конденсатор C_{57} заряжается до напряжения, пропорционального размаху сигнала изображения.

Через фильтр $R_{63}C_{59}$ напряжение АРУ подается в цепь базы транзистора T_{10} — усилителя постоянного тока, выполненного по схеме эмиттерного повторителя. Когда напряжение с ключевого каскада АРУ не поступает, транзистор T_{10} открыт, и падение напряжения на резисторах R_{68} и R_{69}, включенных в цепь эмиттера транзистора, создает положительное напряжение в регулируемых цепях приемного тракта.

При возрастании напряжения сигнала на входе телевизора ключевой каскад на транзисторе T_8 создает в цепи базы транзистора T_{10} запирающее напряжение, что приводит к уменьшению положительного напряжения АРУ и уменьшению усиления первого каскада УПЧ и каскада УВЧ.

Нагрузкой УПТ служат резисторы R_{68}, R_{69}. С потенциометра R_{69} НАЧАЛЬНЫЙ РЕЖИМ АРУ через резистор R_4 (см. рис. 9.11) напряжение АРУ подается в цепь базы транзистора первого каскада УПЧ, а через диод задержки $Д_7$ в цепь базы транзистора T_1 — усилителя высокой частоты блока СК-М-15 (см. рис. 9.5).

Потенциометром R_{69} устанавливается режим работы первого каскада УПЧ, соответствующий максимальному коэффициенту

усиления первого каскада при слабом сигнале на входе телевизора, а потенциометром R_{73} ЗАДЕРЖКА АРУ — оптимальный режим работы транзисторов в усилителях высокой частоты блоков СК-М-15 и СК-Д-1. Диод $Д_7$ осуществляет задержку подачи напряжения АРУ на каскады УВЧ этих блоков по отношению к напряжению АРУ на первом каскаде УПЧ, что необходимо для повышения отношения сигнал/шум при приеме слабых сигналов.

Автоматическая подстройка частоты гетеродина (АПЧГ). Высокое качество изображения и звукового сопровождения может быть получено только при точной и стабильной настройке гетеродина. Такой настройки можно добиться лишь в результате применения автоматической подстройки частоты гетеродина. Поэтому в современных телевизорах первого и второго классов, как правило, применяют АПЧГ.

Как видно из рис. 9.16, в систему АПЧГ, кроме обычных узлов телевизора, входят фазовый дискриминатор, следящий за уходом частоты гетеродина, усилитель постоянного тока и управляющий элемент, связанный с контуром гетеродина.

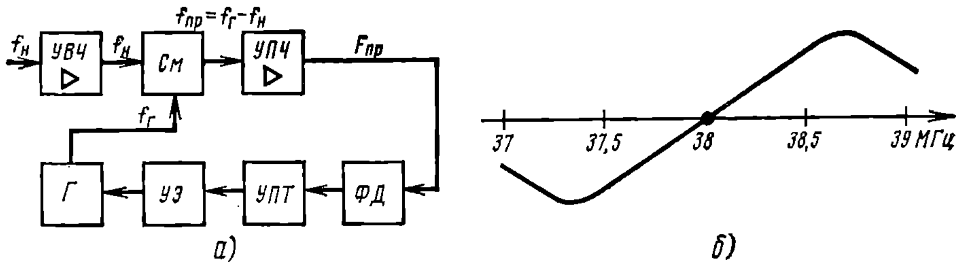


Рис. 9.16. Система АПЧГ:
а — структурная схема; *б* — частотная характеристика фазового дискриминатора (*УВЧ* — усилитель высокой частоты, *См* — смеситель, *УПЧ* — усилитель промежуточной частоты, *Г* — гетеродин, *УЭ* — управляющий элемент, *ФД* — фазовый дискриминатор, *УПТ* — усилитель постоянного тока)

Фазовый дискриминатор имеет амплитудно-частотную характеристику, изображенную на рис. 9.16*б*. Из этой характеристики следует, что при номинальном значении промежуточной частоты (38 МГц) выходное напряжение дискриминатора равно нулю, и он никакого влияния на частоту гетеродина оказывать не будет. При отклонении по какой-либо причине частоты гетеродина от номинального значения, например на Δf, также на Δf изменится и промежуточная частота, так как $f_{пр}=f_г-f_{нес}$, а на передатчике $f_{нес}$ сохраняется весьма стабильной. В результате на выходе дискриминатора появится управляющее напряжение ΔU, знак и уровень которого определяются величиной и направлением расстройки гетеродина.

В качестве управляющего элемента в современных телевизорах применяют, главным образом, полупроводниковые приборы с управляемой емкостью *p-n*-перехода — *варикапы*. В варикапах используется емкость запертого *p-n*-перехода. С возрастанием за-

пирающего напряжения толщина *р-п*-перехода увеличивается, а емкость варикапа — уменьшается. Таким образом, изменяя напряжение, подаваемое на варикап, можно изменить его емкость.

При включении варикапов в контур гетеродина (рис. 9.17) и подаче на него с фазового дискриминатора управляющего напряжения при правильно отрегулированной схеме АПЧГ частота гетеродина будет изменяться и промежуточная частота сохранит номинальное значение.

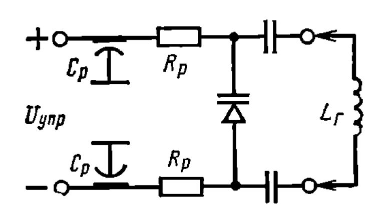


Рис. 9.17. Схема включения варикапа в контур гетеродина

Чтобы воспрепятствовать проникновению напряжения гетеродина в цепи питания телевизора, фазовый дискриминатор соединяется с контуром гетеродина через развязывающие фильтры $R_р$ и $C_р$.

В телевизорах с АПЧГ предусмотрено переключение с автоматической регулировки частоты гетеродина на ручную, при которой изменение частоты гетеродина осуществляется подачей на варикап соответствующего напряжения с переменного резистора.

9.4. Канал сигнала звукового сопровождения

Общие сведения. Как отмечалось, передача сигналов звукового сопровождения в телевизионном вешании осуществляется методом частотной модуляции колебаний несущей частоты, которая на 6,5 МГц выше несущей частоты сигналов изображения. Применение частотной модуляции позволяет получить высокое качество значения, ослабить влияние помех и использовать одноканальную схему построения телевизора.

В одноканальном телевизоре сигналы промежуточной частоты изображения и звукового сопровождения после смесителя проходят по одному общему каналу — УПЧ и поступают в видеодетектор, где осуществляется второе преобразование сигналов звукового сопровождения в разностную частоту, равную 6,5 МГц. Частотой гетеродина при этом преобразовании служит промежуточная частота сигналов изображения.

Усилитель разностной частоты подключается либо к нагрузке одного из каскадов видеоусилителя, либо к нагрузке видеодетектора. В зависимости от места ответвления второй промежуточной частоты звука приходится брать один, два, а то и три каскада УПЧЗ.

Амплитудно-частотная характеристика усилителя второй промежуточной частоты звука должна быть равномерной в полосе пропускания около 300 кГц и по возможности иметь крутые спады, чтобы отфильтровать мешающие сигналы, прежде всего высокочастотные составляющие сигнала изображения.

Часто в тракте звукового сопровождения применяют полосовые фильтры со связью больше критической и одиночные конту-

ры. При этом сквозная амплитудно-частотная характеристика получается с плоской вершиной и достаточно крутыми спадами.

Перевод канала звукового сопровождения на транзисторы не встретил сколько-нибудь существенных технических трудностей, и этот канал был одним из первых узлов телевизора, переведенных на транзисторы, что положило начало серийного выпуска второго поколения телевизоров лампово-полупроводниковых.

Усилитель ПЧ сигнала звукового сопровождения. Такой усилитель иначе назовем усилителем ПЧ звука (УПЧЗ). На нагрузке видеодетектора R_{24} (см. рис. 9.13) образуются сигнал изображения и сигнал разностной частоты. Оба сигнала поступают (рис. 9.18) на базу транзистора T_5 (первый каскад усилителя).

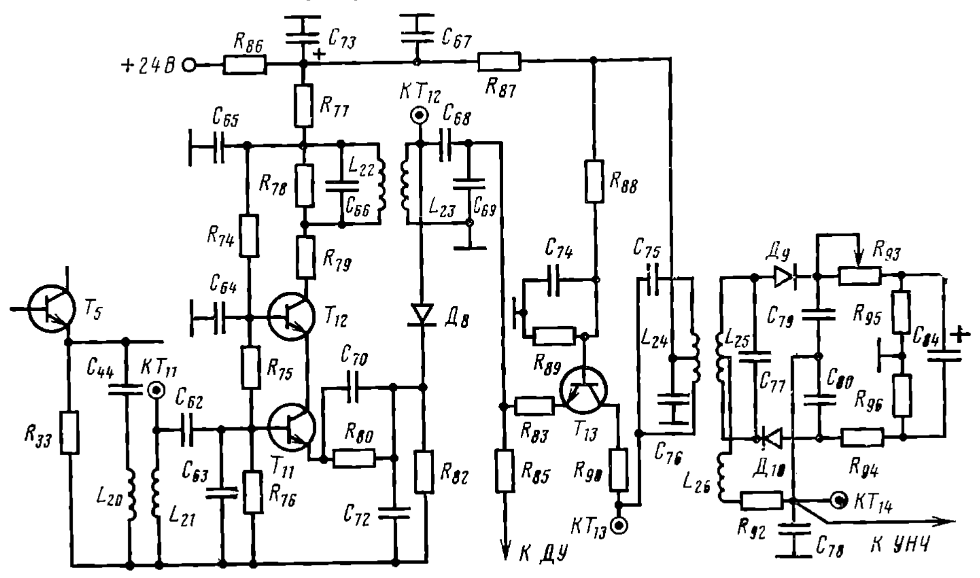


Рис. 9.18. Принципиальная схема *УПЧЗ* и частотного детектора телевизора УПТ-61-II-1/2

В эмиттерную цепь T_5 включен режекторный контур $L_{20}C_{44}$, настроенный на частоту 6,5 МГц. Этот контур наводит в катушке L_{21} сигнал второй промежуточной частоты звукового сопровождения, который подается на двухкаскадный УПЧЗ.

Первый каскад УПЧЗ собран по каскодной схеме на транзисторах T_{11} и T_{12} (КТ315А). Нагрузкой первого каскада служит двухконтурный полосовой фильтр $L_{22}C_{66}$ и $L_{23}C_{68}C_{69}$ с индуктивной связью между контурами. Чтобы ослабить шунтирование режекторного контура $L_{20}C_{44}$ цепью базы транзистора T_{11}, напряжение на первый каскад подается с емкостного делителя, образованного конденсаторами C_{62} и C_{63}.

Резисторы R_{74}, R_{75} и R_{76} в цепях баз транзисторов и резисторы R_{80} и R_{82} в цепи эмиттера транзистора T_{11} определяют режим работы каскада постоянному току. Резистор R_{79} в цепи коллектора транзистора T_{12} повышает устойчивость работы каскада.

Диод $Д_8$ и резистор R_{82} образуют цепь ограничения сигнала звукового сопровождения, обеспечивающую уменьшение паразитной модуляции. Резистор R_{77} и конденсатор C_{65} образуют развязывающий фильтр в цепи питания.

Второй каскад УПЧЗ собран на транзисторе T_{13} типа КТ315Б по схеме с общей базой. Нагрузкой каскада является контур дробного детектора с катушками L_{24}, L_{25} и L_{26}. Сигнал в цепь эмиттера транзистора T_{13} подается с емкостного делителя, образованного C_{68} и C_{69}. Резисторы R_{83}, R_{88} и R_{89} определяют режим работы транзистора. Резистор R_{90} повышает устойчивость работы каскада. Резистор R_{87} и конденсатор C_{67} служат развязывающим фильтром.

Частотный детектор. Сигнал разностной частоты, как уже говорилось выше, промодулирован по амплитуде сигналом изображения и по частоте сигналом звукового сопровождения. Устранить ненужную здесь амплитудную модуляцию сигнала разностной частоты сигналом изображения и сохранить при этом частотную модуляцию сигналами звукового сопровождения можно, либо применяя специальный амплитудный ограничитель, либо используя в качестве частотного детектора так называемый *дробный детектор*. Последний, наряду с высокой чувствительностью и большим коэффициентом усиления, обладает способностью хорошо подавлять паразитную амплитудную модуляцию. Поэтому в большинстве современных телевизоров в качестве частотного детектора используется дробный детектор или, как его еще называют, детектор отношений. Иногда применяют как дробный детектор, так и одновременно амплитудный ограничитель.

Основу схемы дробного детектора совместо с УПЧЗ (см. рис. 9.18) составляют диоды $Д_9$ и $Д_{10}$. Напряжение на каждом диоде представляет собой сумму половины напряжения вторичного контура $L_{25}C_{77}$ и напряжения на дополнительной катушке L_{26}, индуктивно связанной с катушкой первого контура L_{24}. Нагрузками диодов $Д_9$ и $Д_{10}$ служат резисторы R_{95} и R_{96}, зашунтированные конденсатором C_{84} большей емкости. При подаче на вход каскада частотно-модулированного сигнала напряжение на нагрузке одного диода возрастает, а на нагрузке другого на столько же падает. Суммарное напряжение на обеих нагрузках останется постоянным. Таким образом, при изменении частоты приходящего сигнала изменяется только соотношение между напряжениями на R_{95} и R_{96}, т. е. дробь U_{95}/U_{96}, откуда и произошло название этого детектора — *дробный детектор*.

Усилитель низкой частоты (УНЧ) в телевизорах предназначен для усиления сигналов звукового сопровождения до уровня, обеспечивающего нормальную громкость звучания. Усилитель низкой частоты в современных телевизорах обычно состоит из двух-трех каскадов. Схемы УНЧ, применяемые в телевизорах, отличаются большим разнообразием. Обычно в УНЧ осуществляются регулировки усиления ГРОМКОСТЬ и тембр звука.

Рассмотрим в качестве примера схему УНЧ телевизора УПТ-61-II-1/2 (рис. 9.19). УНЧ этого телевизора — трехкаскадный. Первый каскад собран на транзисторе T_{14} типа КТ315Б по схеме с общим эмиттером. Нагрузкой первого каскада служит резистор R_{100}, включаемый в цепь коллектора. Для повышения

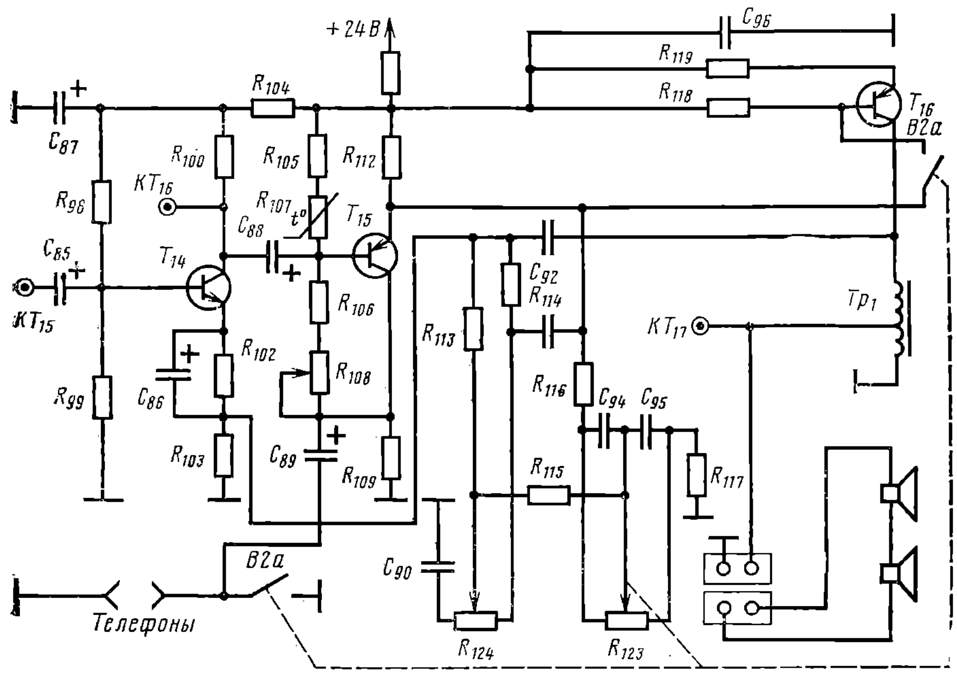


Рис. 9.19. Принципиальная схема усилителя низкой частоты телевизора УПТ-61-II-1/2

входного сопротивления каскада и уменьшения нелинейных искажений применена отрицательная обратная связь, осуществляемая благодаря включению в эмиттерную цепь резистора R_{103}, не зашунтированного конденсатором. С нагрузки первого каскада через разделительный конденсатор C_{88} сигнал подается на базу второго каскада, собранного на транзисторе T_{15} типа МП25Б по схеме эмиттерного повторителя. Применение такой схемы обеспечивает согласование выходного сопротивления первого каскада со входным сопротивлением третьего каскада.

Второй и третий каскады УНЧ связаны между собой гальванически (без разделительного конденсатора). Сигнал с нагрузки эмиттерного повторителя — резистора R_{112} подается через выключатель *В2а* в цепь базы оконечного усилителя мощности, работающего по схеме с общим эмиттером на транзисторе T_{15} (П214Г). Оконечный каскад работает в режиме класса А. Гальваническая связь второго и третьего каскадов позволяет производить установку их режима по постоянному току с помощью ре-

зистора R_{108} в цепи базового делителя второго каскада и использовать для температурной стабилизации терморезистор R_{107}.

В цепь коллектора T_{16} включен согласующий автотрансформатор Tp_1, к части витков которого подключены два соединенных последовательно громкоговорителя — $Гp_1$ и $Гp_2$ (1ГД36).

Для повышения качества звучания в усилителе предусмотрена цепь частотнозависимой отрицательной обратной связи, образованная обмоткой выходного автотрансформатора и разделительным конденсатором C_{92}.

В цепи ООС осуществлена регулировка тембра в области высоких частот с помощью потенциометра R_{124} и по низким частотам с помощью потенциометра R_{123}. На регуляторе тембра в области низких частот установлен выключатель *В2а*, с помощью которого можно отключить подачу сигналов в цепь базы выходного каскада и подключить ко второму каскаду УНЧ головные телефоны.

9.5. Органы настройки и регулировки черно-белого телевизора

Общие сведения. Каждый телевизор имеет сравнительно большое число ручек управления и органов регулировки. Одними приходится пользоваться довольно часто (во время приема телевизионных передач), поэтому их располагают в легко доступных местах, обычно на передней панели корпуса телевизора, другими — сравнительно редко (главным образом при первой установке телевизора), поэтому их обычно располагают на задней стенке или даже внутри телевизора.

Рассмотрим кратко назначение основных ручек управления и регулировки телевизора.

Настройка частоты. Как и всякий радиоприемник, телевизор необходимо настроить на частоту передачи. До недавнего времени грубая настройка, как правило, осуществлялась механическим переключением с помощью барабанного переключателя катушек УВЧ, смесителя и гетеродина в блоке ПТК. Точная настройка телевизора достигалась подстройкой частоты гетеродина путем большего или меньшего заполнения диэлектриком зазора между обкладками контурного конденсатора.

Затем вместо переменного конденсатора с механически вращающимся ротором гетеродин был введен варикап.

В дальнейшем было предложено осуществлять электронными методами не только плавную настройку внутри диапазона, но и производить переключение контурных индуктивностей и осуществлять переход с одного поддиапазона на другой с помощью коммутационных диодов, управляемых подачей на них необходимых постоянных напряжений.

Сочетание подобного электронного переключения катушек и плавной АПЧГ позволило создать так называемые системы *сенсорной настройки,* при которой переход с одной программы на

другую осуществляется в результате легкого прикосновения пальцем к пластине или кнопке с номером желаемой программы или телевизионного канала.

Контрастность. Большинство современных телевизоров имеет автоматическую регулировку усиления, обеспечивающую постоянство размаха сигнала на выходе телевизора, а следовательно, и контрастности изображения. Однако, чтобы иметь возможность устанавливать контрастность изображения в соответствии со вкусом телезрителя внешним освещением и характером передачи, в телевизоре имеется дополнительная ручная регулировка усиления в небольших пределах. Известно множество схем регулировки контрастности. В старых типах телевизоров контрастность регулировалась обычно путем изменения отрицательного смещения на сетках ламп ПТК и УПЧ. В новых моделях телевизоров контрастность регулируется, как правило, путем изменения усиления сигнала изображения. Причем и здесь может быть использовано множество способов. Один из них — изменение с помощью потенциометра напряжения на экранной сетке лампы видеоусилителя. Чтобы устранить инерционность регулировки контрастности при этом способе, можно изменять напряжение на экранной сетке видеоусилителя с помощью специальной регулирующей лампы. Можно регулировать усиление видеоусилителя, меняя смещение на управляющей сетке лампы или меняя одновременно смещение, снимаемое с катодного сопротивления, и величину отрицательной обратной связи между цепью катода и управляющей сеткой.

В транзисторных телевизорах наиболее часто контрастность изображений изменяется в выходном каскаде видеоусилителя. Наиболее употребительные схемы регулировки контрастности в транзисторных телевизорах приведены на рис. 9.20. Действие большинства из регулировок основано на изменении отрицательной обратной связи, а следовательно, и усиления выходного каскада.

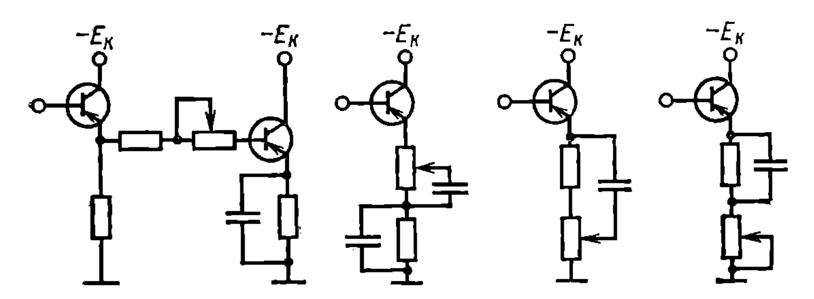


Рис. 9.20. Разновидности схем регулировки контрастности в транзисторных телевизорах

Яркость. Для установления правильного режима работы кинескопа, при котором уровень черного в сигнале вызывает запирание тока его луча, так что экран практически перестает светиться, служит регулятор яркости. С помощью этого регулятора изменяют смещение на управляющем электроде кинескопа и подбирают

желаемую исходную рабочую точку на его модуляционной характеристике.

Фокусировка. Цель фокусировки — уменьшение размеров светящегося пятна на экране для получения наилучшей четкости изображений. В современных телевизорах, как известно, применяются почти исключительно кинескопы с электростатической фокусировкой. Качество фокусировки в этих кинескопах не очень критично к величине напряжения на фокусирующем электроде. Поэтому во многих телевизорах ручка фокусировки отсутствует, на фокусирующий электрод подается подбираемое при установке телевизора или замене кинескопа одно из фиксированных напряжений, например 0, 130, 250 и 600 В. Встречаются телевизоры, в которых напряжение на фокусирующий электрод подается с потенциометра, позволяющего плавно изменять фокусирующее напряжение в необходимых пределах.

Управление растром. Группа ручек и органов управления телевизора служит для регулирования его растра. Сюда относятся ручки регулировки линейности изображения по горизонтали и вертикали размеров и центровки растра. К этой группе можно отнести ручки регулировки частоты строчной и кадровой разверток.

Дистанционное управление телевизором (ДУ). Для увеличения удобства эксплуатации телевизоров их нередко снабжают выносным пультом управления яркостью, контрастностью, громкостью и т. п. Такое устройство через многожильный удлинительный кабель со специальным разъемом подключается к телевизору. Длина этого кабеля обычно составляет около пяти метров. При этом емкость его достигает несколько сотен пикофарад. Подключение столь большой емкости к высокочастотным цепям и цепям, несущим сигнал изображения или даже звуковой сигнал, недопустимо, так как вызовет нарушение настройки или ослабление высокочастотных составляющих сигнала и появление соответствующих искажений. Кроме того, длинные жилы кабеля, даже помещенные в экран, подвергаясь воздействию всевозможных внешних полей, могут стать источниками наводок и помех. Поэтому подключать дистанционные органы регулировки можно лишь к цепям постоянного тока.

С точки зрения удобства было бы желательным иметь возможность осуществлять на расстоянии любую оперативную регулировку телевизора. Но создание некоторых из таких регулировок, например дистанционного переключения каналов, приводило к значительным усложнениям и удорожанию телевизоров.

Замена механических систем настройки и регулировки телевизоров электронными облегчила создание систем дистанционного управления телевизорами. Кроме упомянутых выше проводных систем дистанционного управления, были созданы системы управления на ультразвуковых волнах, инфракрасных лучах и др. Были созданы системы дистанционного управления, позволяющие выполнять в цветных телевизорах до десяти различных команд.

9.6. Общие характеристики цветных телевизоров

Упрощенная схема цветного телевизора (рис. 9.21) по сравнению со схемой черно-белого телевизора содержит новые элементы: цветной кинескоп, декодер и блок сведения лучей[1] (заштрихованные). Цветной кинескоп был описан в третьей главе. Наиболее

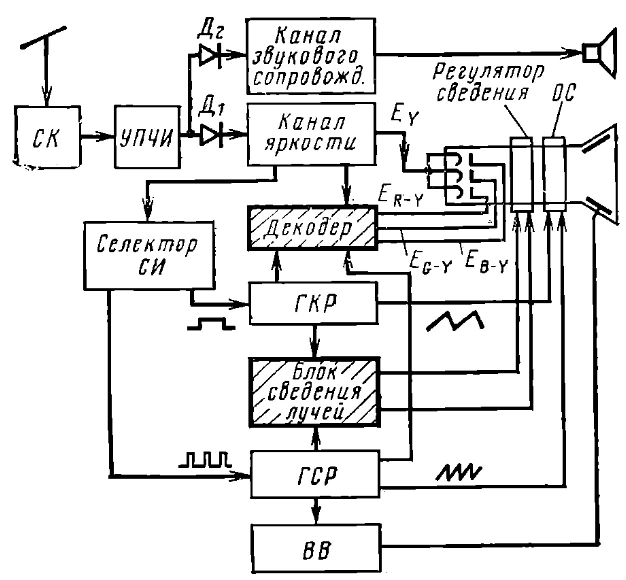


Рис. 9.21. Упрощенная структурная схема цветного телевизора

сложной схемной частью цветного телевизора является декодер (декодирующее устройство или канал сигнала цветности). В декодере происходит выделение из полного цветового видеосигнала СЕКАМ сигналов цветности, их детектирование (выделение цветоразностных сигналов E'_{R-Y} и E'_{B-Y}) и восстановление цветоразностного сигнала E'_{G-Y}.

Блок сведения обеспечивает точное сведение трех лучей на всей поверхности маски цветного кинескопа.

Кроме показанных на схеме рис. 9.1 блоков цветной телевизор содержит еще ключевую схему АРУ, блок автоматического размагничивания, выпрямители напряженного питания ускоряющих электродов кинескопа, выпрямитель напряжения фокусировки, стабилизатор высокого напряжения, устройство гашения луча кинескопа.

При приеме черно-белых передач декодер выключается и работает только канал яркости. Селектор каналов в цветных телевизорах обычный. Усилитель промежуточной частоты изображения, канал яркости (видеоусилитель в цепи яркости сигнала E'_Y)

---

[1] В телевизорах на кинескопах с самосведением лучей этот блок отсутствует.

и канал звука по сравнению с черно-белым телевизором имеют некоторые схемные особенности. Блоки кадровой и строчной разверток, высоковольтный выпрямитель для питания второго анода кинескопа более мощные и более сложные, чем в черно-белом телевизоре.

К характеристикам всех звеньев цветного телевизора предъявляются более высокие требования, чем в черно-белых телевизорах, так как даже незначительные отклонения режимов и параметров вызывают искажения цвета передаваемого объекта.

Наиболее распространенной моделью в настоящее время является унифицированный лампово-полупроводниковый цветной телевизор второго класса УЛПЦТ-59/61-II-11/14.

Конструктивно этот телевизор содержит следующие функционально законченные блоки:

блок питания и блок коллектора;

блок радиоканала — УПЧИ, АПЧГ, первый каскад канала сигнала яркости (эмиттерный повторитель), селектор синхроимпульсов, АРУ, усилитель второй промежуточной частоты звука, частотный детектор звука и усилитель низкой частоты;

блок сигнала цветности (декодер);

блок управления (селекторы каналов МВ и ДМВ и оперативные регулировки громкости, яркости, контрастности, насыщенности, цветного тона, переключатели);

блок разверток;

блок сведения.

Поскольку детальное описание схемы этого телевизора не входит в задачу авторов, в настоящей главе основное внимание будет обращено обоснованию построения схемы цветного телевизора УЛПЦТ и в отдельных случаях будут сделаны ссылки на его схему.

9.7. Усилитель промежуточной частоты цветного телевизора

Одним из основных требований к УПЧ цветного телевизора является более широкая полоса пропускания, чем в черно-белых телевизорах, которая должна составлять не менее 5,6 МГц при неравномерности усиления в интервале частот 33—34,25 МГц не более 15%. При более узкой полосе пропускания не обеспечивается равномерное усиление спектра сигнала цветности.

Высокие требования предъявляются к значению коэффициента нелинейных искажений сигнала изображения не более 10%, так как в противном случае будет нарушена правильность передачи градаций яркости.

Коэффициент усиления УПЧ цветных телевизоров второго класса не менее 2000 (т. е. 66 дБ).

Для обеспечения качественной работы цветного телевизора большое значение имеет устранение комбинационных помех, возникающих в канале УПЧ, в результате биений между промежу-

точной частотой звукового сопровождения и промежуточными частотами цветовых поднесущих (см. рис. 9.9*б*). Промежуточные частоты равны соответственно:

для строки D_R $f_{\text{пр } R}=38{,}0-4{,}406=33{,}6$ МГц;

для строки D_B $f_{\text{пр } B}=38{,}0-4{,}25=33{,}75$ МГц.

В результате биений этих промежуточных частот с промежной частотой звука возникают комбинационные частоты:

$$f_{\text{пр } R}=33{,}6-31{,}5=2{,}1 \text{ МГц};$$

$$f_{\text{пр } B}=33{,}75-31{,}5=2{,}25 \text{ МГц}.$$

После видеодетектора эти частоты биений, попадая в канал сигнала яркости, могут вызвать появление крупномасштабной сетки, накладывающейся на основное изображение, а попадая в декодирующее устройство канала цветности, могут нарушить работу системы опознавания. Для устранения этих комбинационных помех необходимо значительно подавлять промежуточную частоту звука. Однако при этом окажется подавленной и вторая промежуточная частота звукового сопровождения 6,5 МГц, что потребует значительного усложнения схемы УПЧ этого сигнала.

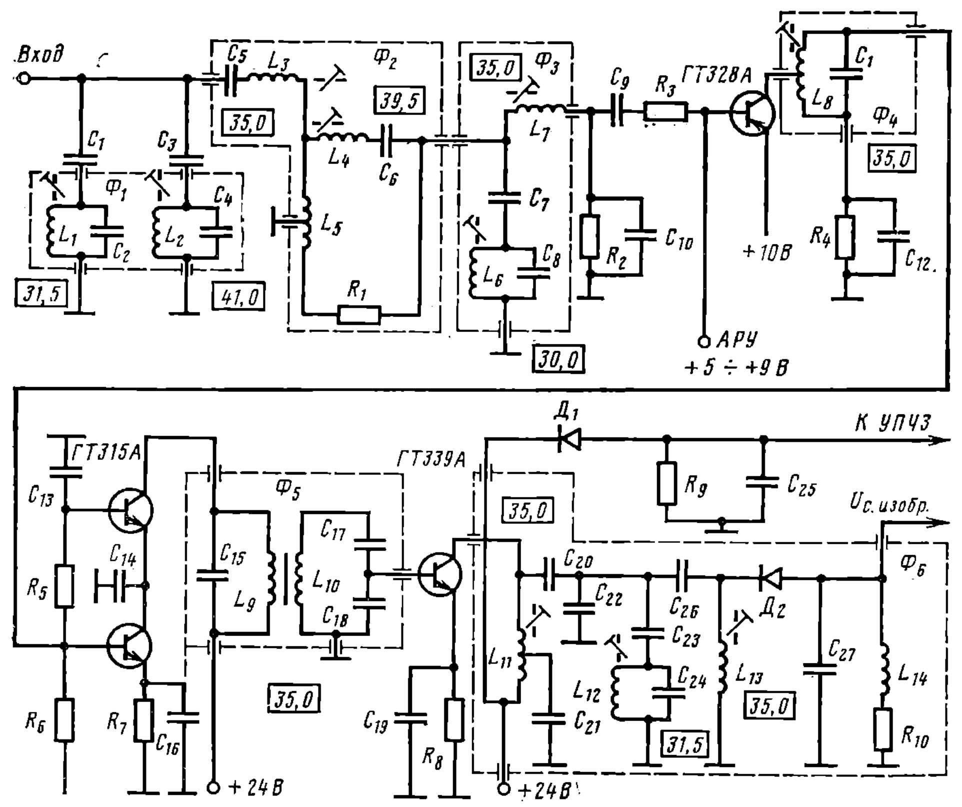


Рис. 9.22. Упрощенная схема *УПЧИ* унифицированного цветного телевизора «Рубин-707»

Поэтому в цветных телевизорах обычно применяют два раздельных детектора: один для выделения второй промежуточной частоты звука 6,5 МГц и второй — для выделения полного цветового телевизионного сигнала. В цепь видеодетектора включают режекторный фильтр, настроенный на промежуточную частоту звука 31,5 МГц.

Упрощенная функциональная схема УПЧИ телевизора УЛПЦТ-59 показана на рис. 9.22.

Усилитель содержит три каскада на четырех транзисторах, с фильтром сосредоточенной селекции (ФСС) на входе, в который включены почти все режекторные контуры, определяющие избирательность телевизора.

Аналогичный ФСС уже был описан в § 9.3. Первый каскад УПЧ1 собран по схеме с ОЭ и имеет нагрузку в цепи коллектора в виде параллельного колебательного контура, настроенного на частоту 35,0 МГц. Этот контур позволяет скомпенсировать провал в частотных характеристиках последующих каскадов. Второй каскад УПЧ2 собран по каскодной схеме на двух транзисторах и нагружен на двухконтурный полосовой фильтр. Третий каскад УПЧИ собран по схеме с ОЭ и нагружен на полосовой фильтр с емкостной связью между контурами.

Диод $Д_1$ служит для выделения сигнала $U_{вых.з}$ второй промежуточной частоты звука, равной 6,5 МГц, а диод $Д_2$ — видеодетектором. На входе видеодетектора включен режекторный фильтр, настроенный на промежуточную частоту звука 31,5 МГц. С выхода снимается сигнал изображения $U_{вых.и}$.

9.8. Методы модуляции электронных лучей масочного кинескопа

Прежде чем перейти к рассмотрению вопросов построения каналов яркости и цветности цветного телевизора, необходимо остановиться на двух методах модуляции тока электронных лучей цветного кинескопа:

сигналами основных цветов E'_R, E'_G и E'_B;

цветоразностными сигналами E'_{R-Y}, E'_{G-Y}, E'_{B-Y}.

В первом методе (рис. 9.23*а*) на выходе усилителей цветоразностных сигналов должны быть включены три матрицы.

Достоинства этого метода:

требуется только три выходных усилителя сигнала изображения;

сигналы подаются только на три электрода (например, на управляющие), а остальные три электрода (в данном случае — катоды) — свободны и могут быть использованы для регулировки баланса белого;

более точное воспроизведение цветов;

более простая схема восстановления постоянной составляющей, так как сигналы основных цветов униполярны.

К недостаткам этого метода следует отнести следующее:

все три выходных усилителя сигнала изображения должны быть широкополосными, так как каждый сигнал основного цвета должен содержать полную информацию о яркости всех элементов передаваемого изображения;

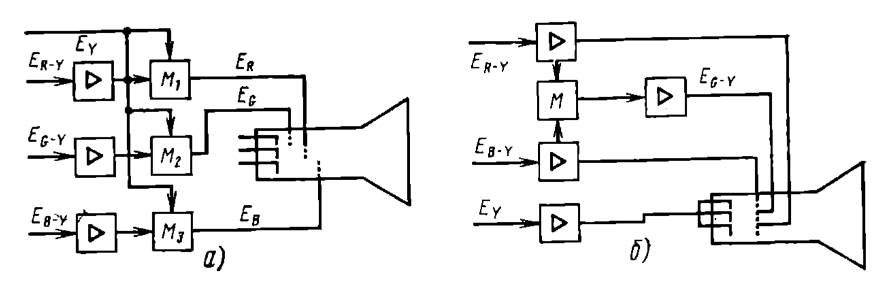


Рис. 9.23. Методы модуляции электронных лучей масочного кинескопа:
а — модуляция сигналами основных цветов; *б* — модуляция цветоразностными сигналами

схема телевизора должна содержать три матрицы;

различие в характеристиках каналов цветоразностных сигналов вызывает нарушение баланса белого.

Достоинства второго метода (рис. 9.23*б*);

отпадает необходимость в трех матрицах, так как матрицирование сигналов происходит в самих прожекторах кинескопа;

выходные усилители цветоразностных каналов узкополосные (полоса частот не превышает 1,5 МГц).

Недостатками второго метода модуляции являются:

размах цветоразностных сигналов почти в 2 раза превышает амплитуду сигналов основных цветов.

вместо трех необходимы четыре выходных видеоусилителя;

более сложные регулировки баланса белого и схема восстановления постоянной составляющей, так как цветоразностные сигналы биполярны.

До настоящего времени в стационарных цветных телевизорах в основном применялся метод модуляции лучей цветоразностными сигналами, а в переносных транзисторных телевизорах — метод модуляции сигналами основных цветов.

В телевизорах, построенных на интегральных схемах, как правило, предпочтение отдают методу модуляции сигналами основных цветов, так как усложнение схемы декодера, которая выполняется методами интегральной электроники, не является существенным.

9.9. Канал сигнала яркости цветного телевизора

Канал сигнала яркости цветного телевизора представляет собой видеоусилитель, который должен поднять уровень сигнала до значения, обеспечивающего модуляцию лучей цветного кинескопа — в зависимости от типа кинескопа размах сигнала должен

составлять 70—110 В. Усилитель должен быть более мощным, чем в черно-белом телевизоре, так как ток катода цветного кинескопа выше, чем черно-белого.

Полоса частот пропускания усилителя должна быть не менее 6 МГц, при неравномерности усиления не более ±1,5 дБ (при выключенном режекторном контуре), коэффициент нелинейных искажений усилителя должен быть не более 10%.

Для подавления помех, создаваемых цветовыми поднесущими, в выходной каскад включаются режекторные фильтры. Однако эти фильтры несколько сокращают полосу пропускания усилителя и, следовательно, ограничивают четкость воспроизводимого изображения по вертикальному клину. Поэтому при выборе частот режекции приходится идти на компромисс между допустимым снижением четкости и допустимыми помехами на изображении от цветовых поднесущих.

В телевизорах на кинескопах с небольшим размером по диагонали можно применить режекторный фильтр из одиночного колебательного контура, настроенного на среднюю частоту спектра поднесущих, которая примерно равна 4,3 МГц.

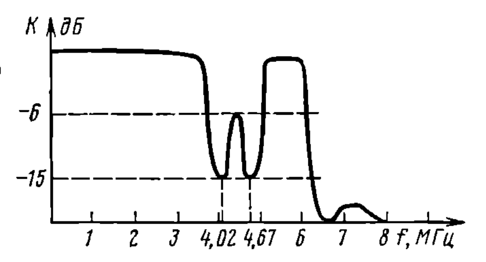


Рис. 9.24. Амплитудно-частотная характеристика канала сигнала яркости

В телевизорах более высокого класса с бо́льшим размером экрана кинескопа применяют в качестве режекторного фильтра систему из двух связанных контуров, имеющую две частоты режекции (рис. 9.24). В цветных телевизорах последних моделей эти частоты соответственно равны 4,02 и 4,67 МГц. Фильтры должны обеспечивать подавление поднесущих не менее чем на 15 дБ.

В схему канала яркости включается широкополосная линия

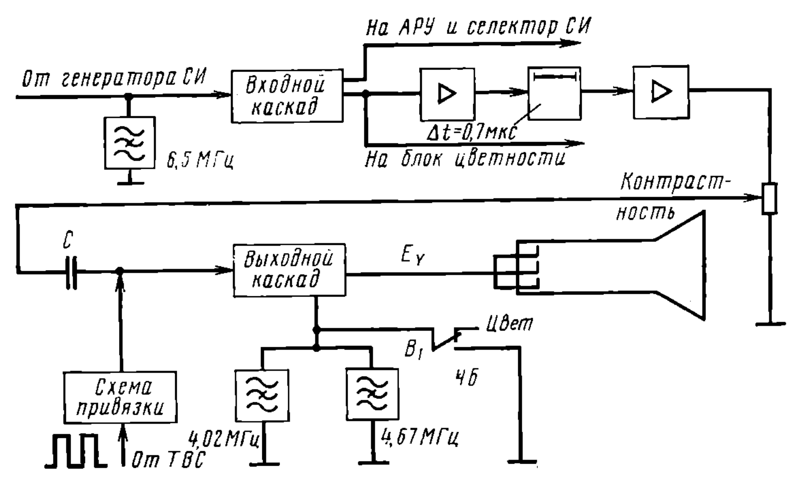


Рис. 9.25. Упрощенная структурная схема канала сигнала яркости

задержки на 0,7 мкс. Это необходимо для того, чтобы выровнять время прохождения сигналов яркости и цветности, которые проходят по узкополосным каналам. В качестве такой линии задержки применяется высокочастотный дроссель, намотанный на латунную гильзу. Емкость между обмоткой и латунным каркасом является распределенной, и такая линия обладает значительно лучшей переходной характеристикой, чем «цепочечная» из отдельных *LC*-звеньев. Линия задержки включается между двумя согласующими каскадами. Примерная структурная схема канала яркости показана на рис. 9.25.

9.10. Декодирующее устройство

Декодер цветного телевизора СЕКАМ выполняет следующие основные функции:

выделяет из полного цветного телевизионного сигнала сигналы цветности;

обеспечивает с помощью ультразвуковой линии задержки и электронного коммутатора одновременное наличие на входах частотных детекторов обоих каналов цветности (U'_{R-Y} и U'_{B-Y});

детектирует сигналы цветности и преобразует их в цветоразностные сигналы E'_{R-Y} и E'_{B-Y};

создает путем матрицирования сигнала E_{G-Y}.

Упрощенная структурная схема декодера телевизора СЕКАМ показана на рис. 9.26. Полный цветовой телевизионный сигнал из

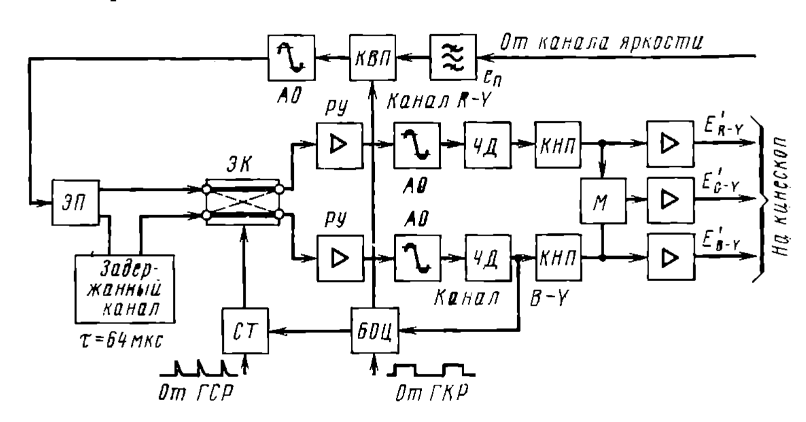


Рис. 9.26. Структурная схема декодирующего устройства

канала сигнала яркости поступает во входную цепь декодера, в которой с помощью полосового фильтра происходит выделение полосы частот, содержащей сигналы цветности. Далее сигнал поступает в корректор высокочастотных предыскажений *КВП*, введенных на передающей стороне. Блок *КВП* представляет собой однокаскадный резонансный усилитель с одиночным колебательным контуром, настроенным на частоту 4,286 МГц. Далее сигнал проходит через двусторонний ограничитель *АО*, который подавля-

ет паразитную амплитудную модуляцию частотно-модулированных сигналов цветности. После ограничения сигнал через согласующий эмиттерный повторитель *ЭП* поступает на электронный коммутатор, который имеет два входа — прямой и задержанный. На прямой вход сигнал поступает непосредственно с выхода двустороннего ограничителя, а на задержанный — через канал задержанного сигнала. Канал задержанного сигнала состоит из согласующего эмиттерного повторителя, ультразвуковой линии задержки на время 64 мкс, усилительного каскада, компенсирующего ослабление сигнала в линии задержки. Сигналы цветности U_{R-Y} и U_{B-Y} с выходов электронного коммутатора поступают каждый в свой канал.

Оба канала «красного» и «синего» сигналов по своей структурной схеме идентичны и содержат резонансный усилитель *РУ*, двусторонний амплитудный ограничитель *АО*, частотный детектор и выходной видеоусилитель цветоразностного сигнала.

Двусторонние амплитудные ограничители в каналах «красного» и «синего» служат для устранения паразитной амплитудной модуляции частотно-модулированных сигналов цветности.

Между выходом частотного детектора и входом сигнала изображения включается цепочка для коррекции низкочастотных предыскажений *КНП*, введенных на передающей стороне.

Матрица *М* служит для создания цветоразностного сигнала E_{G-Y}.

Для правильного цветовоспроизведения необходимо обеспечить согласованную работу электронного коммутатора телевизора с электронным коммутатором кодирующего устройства. Эту задачу выполняет система цветовой синхронизации, которая состоит из генератора коммутирующих импульсов и блока опознавания цвета.

Генератор коммутирующих импульсов синхронизируется импульсами от генератора строчной развертки и управляет работой электронного коммутатора.

На блок опознавания цвета поступают сигналы цветности и импульсы от генератора кадровой развертки.

В случае неправильной работы электронного коммутатора (когда «красный» сигнал поступает в «синий» канал, а «синий» сигнал в «красный» канал) блок опознавания цвета вырабатывает корректирующий импульс, который изменяет фазу коммутирующих импульсов на 180°, что обеспечивает правильную работу коммутатора.

Рассмотрим работу отдельных элементов декодера.

9.11. Канал задержки сигнала цветности

Основным элементом канала задержки сигнала цветности в декодере телевизора СЕКАМ является ультразвуковая линия задержки, рассчитанная на время, равное длительности одной строки, т. е. на 64 мкс.

В различных радиотехнических устройствах линии задержки применяются довольно часто, для этой цели используются отрезки кабелей, или искусственные линии, состоящие из нескольких LC-звеньев (эти звенья как бы моделируют распределенные по длине кабеля емкость и индуктивность). Геометрическая длина кабельной линии задержки должна быть равна произведению скорости распространения электрического сигнала на необходимое время задержки.

Скорость распространения электромагнитной волны вдоль коаксиального кабеля, из которого выполняется антенный ввод к телевизору, несколько меньше скорости света и составляет примерно $2 \cdot 10^8$ м/с. Следовательно, чтобы задержать сигнал на 64 мкс, потребуется бухта кабеля длиной $l = c\tau_{зад} = 2 \times 10^8 \times 64 \times \times 10^{-6} = 12\,800$ м.

Это, конечно, не реально. Если попытаться построить модель линии, т. е. применить «цепочную» линию из LC-звеньев, то она будет обладать очень большим затуханием и будет вносить сильные искажения. Остается один путь — понизить скорость движения сигнала вдоль линии.

Были созданы электромеханические, или ультразвуковые, линии задержки (рис. 9.27). Такая линия состоит из звукопровода и

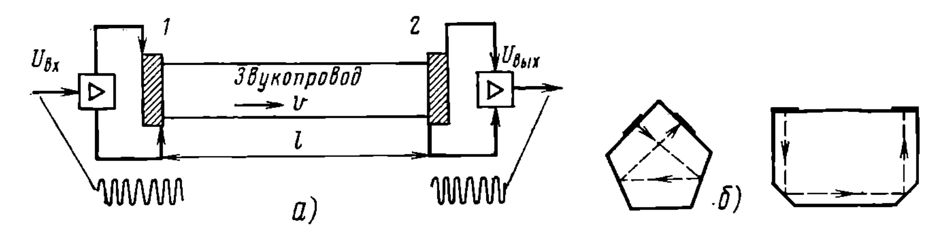


Рис. 9.27. Конструкция ультразвуковой линии задержки:
а — звукопровод с прямолинейным ходом ультразвуковой волны; *б* — звукопроводы с внутренним отражением ультразвука

двух электромеханических преобразователей с обратным *1* и прямым *2* пьезоэффектом. К левому *1* пьезопреобразователю подводится сигнал, под действием которого в пьезокристалле возникают ультразвуковые механические колебания (обратный пьезоэффект). Они передаются по звукопроводу (металлический или стеклянный брус) ко второму пьезопреобразователю, в котором под действием механических колебаний возникают электрические сигналы (прямой пьезоэффект).

Скорость распространения ультразвуковых волн в звукопроводе значительно ниже скорости распространения электромагнитных волн, и геометрические размеры такой электромеханической линии задержки получаются вполне приемлемыми.

Линии задержки, в которых звукопровод выполнен в виде бруска, обладают относительно большими габаритами. Чтобы уменьшить габариты, звукопроводу придают такую форму, при которой ультразвуковая волна претерпевает несколько внутрен

них отражений (рис. 9.27*б*). Так как *УЛЗ* имеют низкое входное сопротивление, для согласования применяют специальные высокочастотные трансформаторы или автотрансформаторы.

Простейшая схема включения *УЛЗ* показана на рис. 9.28.

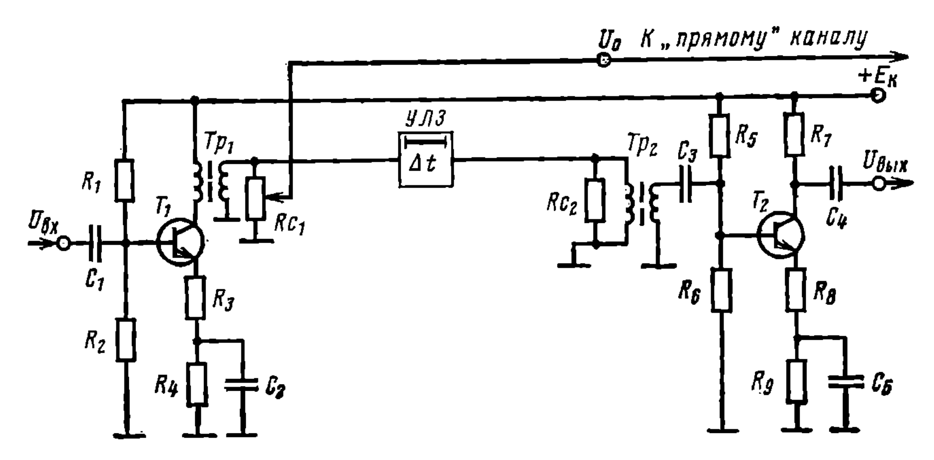


Рис. 9.28. Схема простейшего канала задержки

9.12. Электронные коммутаторы

Для переключения каналов цветности в цветных телевизорах используются электронные коммутаторы на полупроводниковых диодах. Рассмотрим работу простейшего четырехдиодного коммутатора (рис. 9.29*а*). Точки *а* и *б*, в которых импульсы коммута-

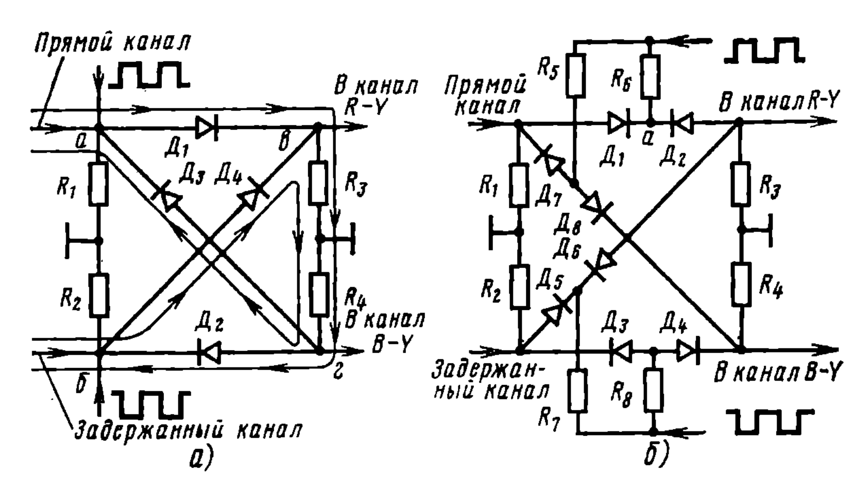


Рис. 9.29. Схема электронных коммутаторов:
а — четырехдиодный коммутатор; *б* — восьмидиодный коммутатор

ии находятся в противофазе, подключаются к выходу генератора коммутирующих импульсов. Допустим, что точка *а* имеет положительный потенциал, а точка *б* — отрицательный. При этом

будут открыты диоды $Д_1$ и $Д_2$. Тогда прямой сигнал окажется поданным в канал $R—Y$, а задержанный сигнал — в канал $B—Y$. При обратной полярности коммутирующих импульсов (в точках *а* и *б*) окажутся открытыми диоды $Д_3$ и $Д_4$. Прямой сигнал окажется поданным в канал $B—Y$, а задержанный — в $R—Y$.

На рис. 9.30*б* показана более совершенная восьмидиодная схема электронного коммутатора. Допустим, что точка *а* имеет положительный потенциал, а точка *б* — отрицательный. Тогда будут открыты диоды $Д_7$, $Д_8$, $Д_5$ и $Д_6$. При этом прямой сигнал окажется поданным в канал $B—Y$, а задержанный — в $R—Y$. При изменении полярности коммутирующих импульсов оказываются открытыми диоды $Д_1$, $Д_2$, $Д_3$ и $Д_4$. Прямой сигнал поступает в канал $R—Y$, а задержанный — в $B—Y$. Восьмидиодный коммутатор обеспечивает меньший уровень перекрестных искажений, так как обладает меньшей проходной емкостью каждой из ветвей (при последовательном включении двух диодов общая емкость снижается в 2 раза).

Кроме этого, восьмидиодный коммутатор обеспечивает одновременно ограничение паразитной амплитудной модуляции.

9.13. Частотные демодуляторы (детекторы)

Назначение частотных детекторов в декодере телевизора СЕКАМ — преобразовать частотно-модулированные сигналы цветности (U'_{R-Y} и U'_{B-Y}) в цветоразностные сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y}.

К частотным детекторам предъявляются следующие требования:

высокая стабильность нулевой точки амплитудно-частотной характеристики (*S*-кривой). Уход этой точки под влиянием внешних факторов (прогрев, колебания питающих напряжений и др.) не должен превышать ±14 кГц;

раствор амплитудно-частотной характеристики, т. е. интервал частот между максимумами *S*-кривой должен быть не менее 1,2 МГц;

нелинейность амплитудно-частотной характеристики в диапазоне ±280 кГц не должен превышать 5%.

Существует довольно много вариантов схем частотных детекторов декодера, но наиболее широкое применение получила схема с тремя независимо настраиваемыми органами настройки (рис. 9.30). При формировании сигнала D'_R на передающей стороне цветоразностный сигнал E'_{R-Y} был инвентирован ($D'_R = -1,9E'_{R-Y}$), и поэтому диоды в «красном» и «синем» каналах включаются в противоположных направлениях и амплитудно-частотные характеристики детекторов (*S*-кривые) имеют противоположный наклон (рис. 9.30*б*). Следует добавить, что нулевая точка амплитудно-частотной характеристики дискриминатора «красного» канала соответствует частоте 4,406 МГц, а «синего» — частоте 4,25 МГц.

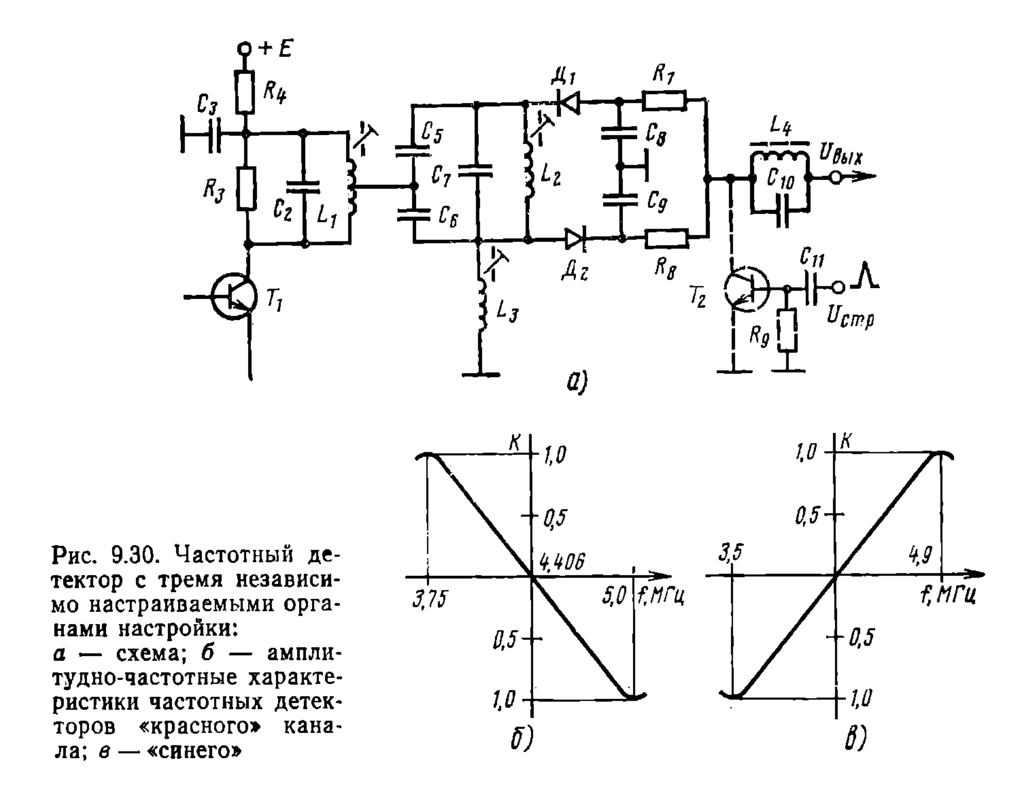


Рис. 9.30. Частотный детектор с тремя независимо настраиваемыми органами настройки:
а — схема; *б* — амплитудно-частотные характеристики частотных детекторов «красного» канала; *в* — «синего»

9.14. Система цветовой синхронизации телевизора

Генератор коммутирующих импульсов ГКИ (см. рис. 9.26) должен вырабатывать прямоугольные симметричные импульсы (меандры) с частотой $f_{стр}/2$ для управления электронным коммутатором (*ЭК*).

Генератор коммутирующих импульсов выполняется по схеме симметричного триггера и управляется импульсами, поступающими от генератора строчной развертки телевизора.

Кроме этого, на триггер подаются импульсы коррекции фазы от блока опознавания цветности. Начальная фаза генератора коммутирующих импульсов ГКИ произвольна и может получиться так, что сигнал цветности «красной» строки попадает в «синий» канал, а «синий» сигнал — в «красный» канал.

Синфазную работу электронного коммутатора в телевизоре обеспечивает система цветовой синхронизации (СЦС). Управляют работой системы цветовой синхронизации импульсы опознавания цвета (цветовой синхронизации), замещенные в полный цветовой телевизионный сигнал СЕКАМ.

Напомним, что импульсы цветовой синхронизации замешиваются во время девяти строчных интервалов на задней площадке кадрового гасящего импульса и представляют собой пакеты час-

тотно-модулированных колебаний поднесущей: для «красных» строк девиация частоты положительная, а для «синих» — отрицательная. При частотном детектировании импульсов опознавания получаются видеоимпульсы трапецеидальной формы чередующейся полярности (для «красных» строк положительной и для «синих» строк отрицательной). Следовательно, полярность продетектированного импульса опознавания позволяет судить о том, какой строке он соответствует: «красной» или «синей».

Существует много вариантов построения систем цветовой синхронизации. Рассмотрим структурную схему довольно распространенной системы цветовой синхронизации с отдельным частотным детектором опознавания (рис. 9.31).

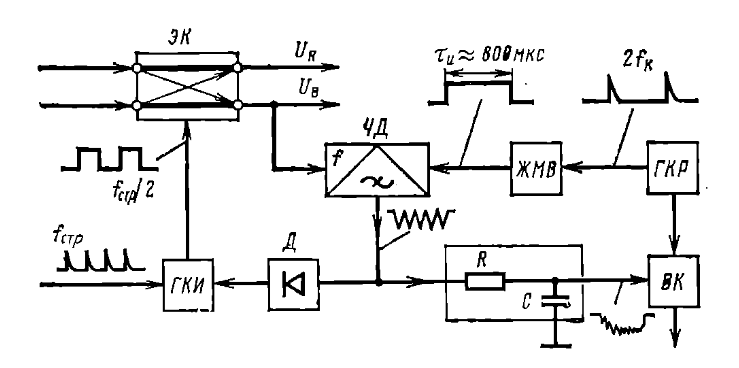


Рис. 9.31. Структурная схема опознавания цвета с отдельным дискриминатором

Сигнал цветности может подаваться на частотный детектор *ЧД* с любого из выходов электронного коммутатора *ЭК*. В начале каждого обратного хода кадра импульсы от генератора кадровой развертки *ГКР* переводят выключатель цветности *ВК* в положение, соответствующее запиранию входа декодера, и одновременно запускают ждущий мультивибратор *ЖМВ*, который вырабатывает прямоугольные импульсы, длительностью примерно 800 мкс. Импульсы от *ЖМВ* отпирают частотный детектор *ЧД* на время прохождения импульсов опознавания.

Если фаза работы электронного коммутатора *ЭК* правильная, на выходе *ЧД* появляются импульсы сигнала опознавания цвета отрицательной полярности. Эти импульсы интегрируются фильтром *RC* и поступают на выключатель декодера *ВК*, который отпирает декодер.

Если фаза работы электронного коммутатора неправильная, полярность пакета импульсов на выходе частотного детектора опознавания *ЧД* становится положительной и через диод *Д* на генератор коммутирующих импульсов *ГКИ* поступает импульс, который корректирует фазу работы электронного коммутатора *ЭК*. Но пока корректировка не произошла, выключатель *ВК* остается в положении, запирающем декодер.

9.15. Генераторы развертки цветного телевизора

Блок разверток генераторов цветного телевизора значительно сложнее, чем черно-белого, так как содержит ряд дополнительных устройств:

цепи коррекции подушкообразных искажений растра;

стабилизатор высокого напряжения питания второго анода кинескопа;

отдельный выпрямитель фокусирующего напряжения;

устройство центровки растра по горизонтали и по вертикали;

блок формирования импульсов тока параболической формы кадровой и строчной частоты для системы динамического сведения лучей цветного кинескопа;

блок формирования импульсов гашения лучей кинескопа.

Следует подчеркнуть, что высоковольтный выпрямитель питания второго анода кинескопа с системой стабилизации (напряжение до 25 кВ) представляет собой достаточно сложное и дорогое устройство. Достаточно сложным является также дополнительный выпрямитель фокусирующего напряжения на 4—5 кВ (эти цифры относятся к кинескопам 59/61-ЛК3Ц).

Необходимость введения цепей центровки растра вызвана тем, что использовать для этой цели постоянные магниты (как это делается в черно-белых телевизорах) нельзя, так как это может привести к нарушению сведения лучей и искажению цветного изображения.

9.16. Узел цветного кинескопа

Устройство и принцип работы масочного цветного кинескопа были описаны в гл. 3.

На рис. 9.32 приведена одна из возможных схем включения масочного кинескопа, для случая управления электронными лучами кинескопа цветоразностными сигналами, которые подаются на управляющие электроды его прожекторов. Катоды прожекторов находятся под постоянным положительным напряжением примерно 350 В, и одновременно на них поступает яркостный сигнал E'_Y в негативной полярности с амплитудой примерно 100 В. На управляющие электроды прожекторов одновременно подаются постоянное положительное напряжение примерно 100 В и цветоразностные сигналы с амплитудой 160 В.

На ускоряющие электроды поступают постоянное напряжение от 500 до 1000 В, а также строчные и кадровые гасящие импульсы с амплитудой 150 и 100 В соответственно.

На фокусирующий электрод с отдельного высоковольтного выпрямителя импульсов обратного хода строчной развертки подается напряжение 5 кВ. На второй анод кинескопа поступает высокое напряжение 25 кВ от другого выпрямителя, также использующего импульсы обратного хода строчной развертки.

Для раздельной регулировки режимов каждого прожектора в схеме питания кинескопа предусмотрены индивидуальные потенциометры.

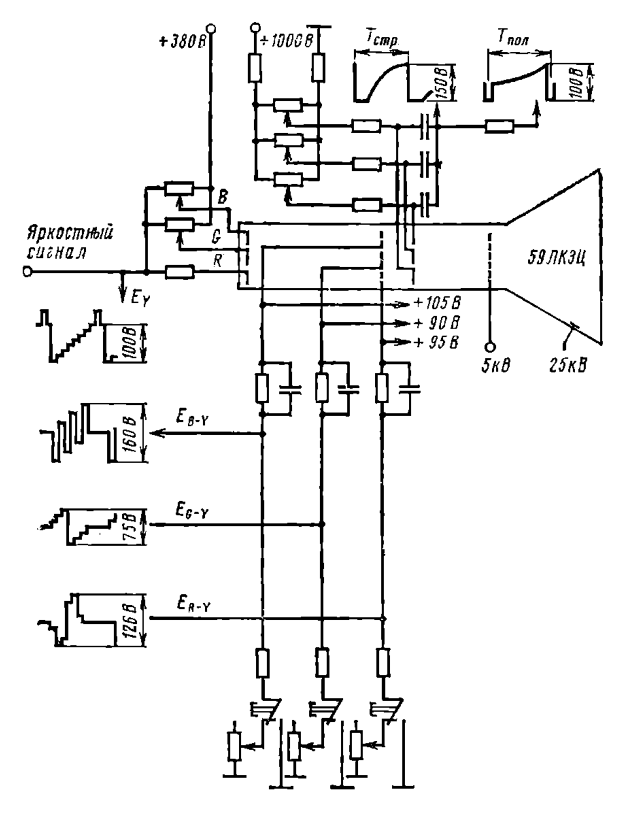


Рис. 9.32. Электрическая схема включения масочного кинескопа

Для управления масочным кинескопом с помощью магнитных полей используются отклоняющая система из двух пар отклоняющих катушек (строчных и кадровых), устройство сведения лучей, магниты частоты цвета. Работа этих устройств была уже описана в гл. 3.

Масочный кинескоп в значительной степени подвержен воздействию различных внешних магнитных полей и магнитного поля Земли, и поэтому в конструкции узла кинескопа цветного телевизора приходится предусматривать ряд мер ослабления действия этих полей.

Один из методов компенсации магнитного поля Земли с помощью специальных стальных колец, надеваемых на горловину кинескопа, был описан в гл. 3. Для защиты кинескопа от внешних магнитных полей используется экранирующий кожух (рис. 9.33), из специальных сортов холоднопрокатной мягкой стали. Для надежного экранирования кожух должен быть полностью размагничен.

Однако в процессе эксплуатации телевизора экранирующий кожух, обод крепления кинескопа и сама маска кинескопа намагничиваются от различных бытовых электрических приборов. Поэтому между баллоном кинескопа и экранирующим кожухом ук-

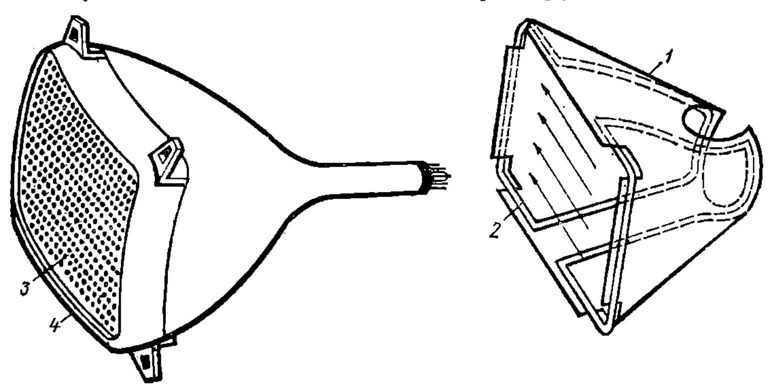


Рис. 9.33. Экранировка баллона кинескопа и расположение петли размагничивания (*1* — стальной экран, *2* — петля размагничивания, *3* — маска, *4* — стальной обод крепления кинескопа)

ладывается специальная петля размагничивания, которая при каждом включении телевизора создает кратковременное магнитное поле, исчезающее к моменту появления изображения на экране кинескопа. Питание петли размагничивания осуществляется от специального устройства, которое включается тумблером включения сети.

9.17. Перспективные цветные телевизоры

Одновременно с модернизацией выпускаемых ныне моделей унифицированных цветных телевизоров промышленностью разработаны и подготовлены к выпуску принципиально новые модели полностью полупроводниковых цветных унифицированных телевизоров I—IV классов блочно-модульной конструкции с применением интегральных микросхем.

Все новые цветные телевизоры будут иметь цветные кинескопы со щелевой маской, планарным расположением прожекторов, самосведением лучей и индивидуально подобранными и наклеенными на горловину кинескопа (на заводе, выпускающем кинескопы) отклоняющими системами.

Использование этих кинескопов, во-первых, упрощает конструкцию телевизора (нет платы сведения лучей), во-вторых, значительно упрощен процесс регулировки телевизора на заводе и при его ремонте, так как отпадает одна из самых трудоемких и сложных операций — регулировка сведения лучей.

Перевод телевизоров на новую элементную базу (полный отказ от ламп и широкое использование интегральных микросхем) также сокращает трудоемкость процесса сборки телевизора и одновременно повышает его надежность.

Специально для цветных телевизоров промышленность разработала ряд линейных интегральных микросхем серии К-174. Каждая такая микросхема представляет собой законченный функциональный микроузел, эквивалентный печатной схеме из нескольких транзисторов и нескольких десятков пассивных элементов (резисторов, конденсаторов).

Конструктивно новые телевизоры блочно-модульной конструкции состоят из трех главных блоков: блока обработки сигналов (БОС), блока развертки (БР) и блока питания (БП). Каждый такой блок состоит из отдельных малогабаритных модулей. Блоки нередко снабжены диагностическими устройствами на светодиодах.

Это резко сократит затраты времени на поиск неисправности при ремонте телевизора, так как ремонт будет заключаться в замене неисправного модуля.

Глава 10

Прикладное телевидение

10.1. Задачи, решаемые прикладным телевидением

На базе достижений техники телевизионного вещания получили широкое распространение прикладные телевизионные системы, применяемые в различных областях деятельности человека как новое средство наблюдения, контроля, управления и связи. Решающее значение сыграли телевизионные системы в освоении космоса.

Прикладное телевидение позволяет наблюдать и управлять процессами в местах, не доступных человеку (далекие планеты, океанские глубины, нефтяные буровые скважины и прочее), а также там, где присутствие человека опасно для жизни (химические цехи с ядовитыми испарениями, атомные установки с высокой радиацией, высокотемпературные производственные помещения и установки, аэродинамические трубы и т. п.).

Современная телевизионная техника позволяет вести передачу изображений не только при обычном естественном или искусственном освещении, но и при крайне низких освещенностях (например, при свете звезд), а также при освещении невидимыми лучами (инфракрасными и ультрафиолетовыми). Специальные медицинские телевизионные установки позволяют преобразовать изображение в невидимых рентгеновских лучах в видимое, передавать его в другое помещение и тем самым избегать постоянного и очень вредного для рентгенологов облучения.

Широкие перспективы имеет учебное телевидение.

Все системы прикладного телевидения можно разделить на три группы: на визуальные системы; на системы с документальной записью принятых изображений; системы телевизионной автоматики.

К визуальным системам относятся все телевизионные устройства, на выходе которых воспроизводится наблюдаемое глазом человека изображение передаваемого объекта.

К системам с документальной записью относятся телевизионные системы с регистрацией передаваемых изображений, например запись изображения облачного покрова Земли, передаваемого с борта метеоспутника.

В системах телевизионной автоматики с выхода системы выдается командный сигнал, который вырабатывается в результате автоматического анализа

видеосигнала, получаемого в процессе телевизионного контроля регулируемого объекта (например, непрерывный контроль за протяжкой проволоки).

Подавляющее большинство систем прикладного телевидения является замкнутым, т. е. с передачей сигнала по кабелю или по радио, ограниченному числу специальных приемников.

10.2. Визуальные системы прикладного телевидения

Визуальные системы прикладного телевидения можно подразделить на пять основных групп: системы для контроля технологических процессов; диспетчерское телевидение; учебное телевидение; видеотелефоны; системы для научных исследований.

Построение систем прикладного телевидения значительно отличается от систем телевизионного вещания, в которых наиболее сложен передающий комплекс (телевизионный центр). В системах прикладного телевидения, как правило, передающую камеру стремятся сделать как можно компактнее, снабдив ее системой дистанционного управления, а все наиболее сложные блоки (например, синхрогенератор) сосредоточить в приемной части, которая располагается в специальном помещении и обслуживается оператором.

В зависимости от назначения прикладной системы телевидения, применяются различные способы развертки и различные форматы кадра. Наиболее широкое применение в прикладных системах находит растровая развертка (прогрессивная и чересстрочная), а в некоторых системах с успехом применяется спиральная развертка.

10.3. Построение прикладных телевизионных установок (ПТУ)

До недавнего времени почти все ПТУ строились по принципу — наиболее сложная часть системы на приемном конце. При этом в передающей камере размещались передающая телевизионная трубка с отклоняющей системой, блок генераторов развертки, предварительный усилитель сигнала изображения и устройство для дистанционного управления камерой (поворот камеры и наводка на фокус). При таком построении ПТУ синхрогенератор размещается на приемной стороне. Значительно упрощается конструкция передающей камеры, причем ее можно делать максимально компактной, но конструкция соединительного кабеля, по которому необходимо передавать кроме сигнала изображения еще ведущие синхроимпульсы, для управления генераторами развертки передающей трубки усложняется.

В связи с успехами микроэлектроники появилась возможность конструировать миниатюрные синхрогенераторы и это позволило использовать второй прин-

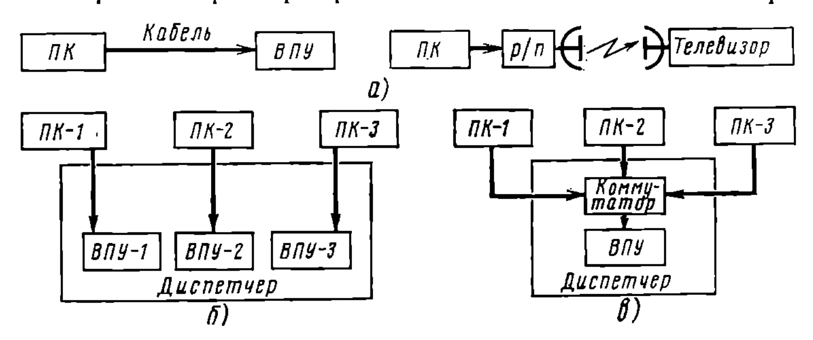


Рис. 10.1. Прикладные телевизионные системы:
а — одноканальная, слева с кабельным каналом, справа с радиоканалом; *б* — диспетчерская ПТУ как совокупность одноканальных ПТУ; *в* — то же, с коммутатором

цип построения ПТУ — по которому наиболее сложная часть аппаратуры размещается непосредственно в передающей камере [10.8]. При этом отпадает необходимость в сложном и дорогом соединительном кабеле.

Прикладные телевизионные установки разделяются на одноканальные (рис. 10.1*а*) и многоканальные (диспетчерские). В свою очередь, многоканальные ПТУ могут представлять собой совокупность нескольких одноканальных (рис. 10.1*б*) или иметь на приемной стороне (диспетчерском пункте) коммутатор и только одно видеоприемное устройство (ВПУ) рис. 10.1*в*. Существуют и смешанные системы ПТУ [10.8].

Кроме черно-белых, находят применение и цветные ПТУ. Поскольку в ПТУ требования совместимости отсутствуют, широко используется система с поочередной передачей цветов как более простая. В СССР разработана система цветной ПТУ для передачи хирургических операций. Экипаж американского корабля «Аполлон» имел в своем распоряжении однотрубочные камеры с вращающимися светофильтрами.

10.4. Параметры разложения изображения в ПТУ

Первоначально в серийных отечественных ПТУ использовались такие параметры разложения изображения, которые позволяли применить в качестве приемных устройств стандартные телевизоры со следующими параметрами:

при прогрессивной развертке число строк 312 и частота кадров 50 Гц, формат кадра 4 : 3;

при чересстрочной развертке число строк 625 и частота кадров 25 Гц, формат кадра 4 : 3.

В настоящее время введен отраслевой стандарт на параметры разложения изображения для черно-белого телевидения промышленного и специального назначения — ОСТ4 ГО.205.002. Этот стандарт предусматривает 13 вариантов для трех групп прикладных телевизионных систем:

многокадровые системы (частота кадров от 25 до 50 Гц);

малокадровые системы (частота кадров от 0,05 до 0,4 Гц);

системы с однострочным разложением.

Принцип малокадрового телевидения (предложен впервые в СССР С. И. Катаевым в 1934 г.) позволяет значительно сократить ширину спектра частот телевизионного сигнала, так как из-за удлинения периода кадровой развертки происходит снижение скорости передачи и соответственно понижение частоты сигналов изображения. Малокадровое телевидение нашло широкое применение в сверхдальних линиях космического телевидения, а также для передачи изображений с метеоспутников.

Варианты 11—13 рекомендуются для телевизионных систем с однострочным разложением и разверткой по кадру путем перемещения носителя передающей аппаратуры относительно передаваемого объекта; принимаемое изображение при этом представляет собой непрерывную ленту. Применяется такая развертка в метеоспутниках для передачи на Землю изображения облачного покрова или для геодезических съемок.

10.5. Применение телевидения в медицине и биологии

Применения телевидения в медицине и биологии чрезвычайно многообразны и интересны: учебное телевидение, телевизионная эндоскопия (осмотр полых внутренних органов — желудка, пищевода, мочевого пузыря и др.), телевизионная рентгеноскопия, телевизионная микроскопия, телевизионные автоматы для подсчета частиц в поле зрения микроскопа, автоматическая идентификация биологических объектов (выделение и подсчет частиц только одного определенного вида) и т. п.

Учебное телевидение позволяет демонстрировать неограниченно большой аудитории хирургические операции, демонстрировать на большом экране увеличенное изображение поля зрения микроскопа. Для освещения объекта наблю-

дения можно использовать не только видимые, но инфракрасные и ультрафиолетовые лучи. Весьма интересной является возможность демонстрации учащимся, без риска их заражения, патогенных микробов.

Телевизионный эндоскоп состоит из световода (обычно жгут из стеклянных волокон), осветителя, передающей камеры и видеоприемного устройства (рис. 10.2). Часть стеклянных волокон световода используется для освещения внутренней поверхности обследуемого органа, а другая часть — для проекции оптического изображения на фотокатод передающей трубки.

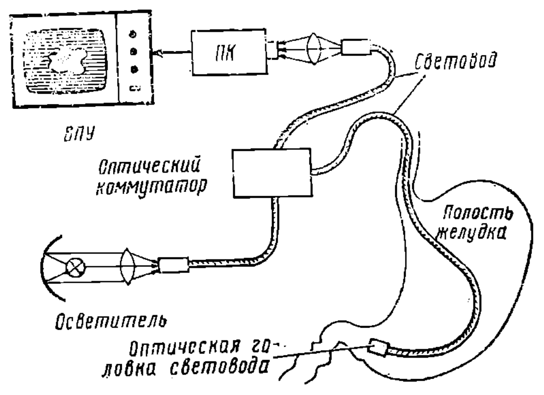


Рис. 10.2. Телевизионный гастроэндоскоп

Рентгеновские телевизионные установки строятся по различным принципам: с промежуточным флюоресцирующим экраном, с электронно-оптическим преобразователем, с передающими телевизионными трубками, чувствительными к рентгеновским лучам и др.

10.6. Телевизионные автоматы

В качестве примера рассмотрим работу устройства для автоматического непрерывного измерения диаметра проволоки в процессе волочения. Увеличенное изображение проволоки проецируется на фотокатод передающей трубки (рис. 10.3). Развертка этого изображения осуществляется на поверхности ми-

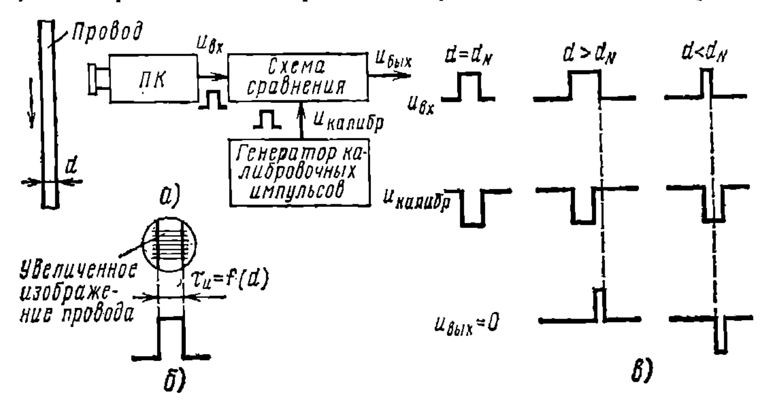


Рис. 10.3. Принцип работы телевизионного автомата для непрерывного изменения (контроля) диаметра провода:
а — структурная схема автомата; *б* — мишень передающей трубки с увеличенным изображением провода и форма импульса на выходе камеры; *в* — процесс сравнения импульсов на выходе камеры с калибровочными импульсами

шени трубки только по одной строке — перпендикулярно к направлению продольной оси проволоки. Длительность П-образного импульса на выходе усилителя сигнала изображения определяется текущим значением диаметра проволоки. В специальном блоке сравнения генерируемый трубкой импульс непрерывно сравнивается по длительности с калибровочным импульсом, имеющим обратную полярность. При отклонении диаметра провода от номинала на выходе блока сравнения появляется импульс, полярность которого зависит от знака отклоне-

ния, а длительность — от величины отклонения. С появлением сигналов отклонения загорается световой сигнал (соответствующего цвета), а при отклонении свыше допустимого значения процесс волочения останавливается автоматически.

10.7. Космическое телевидение

Применение телевизионной техники для исследования космоса имеет несколько направлений:

передача подвижных изображений для наблюдения за поведением космонавтов в условиях космического полета и при высадке на поверхность планет;

наблюдение за процессами стыковки и расстыковки кораблей;

передача неподвижных изображений из космоса (передача фотографий поверхности Луны, облачного покрова Земли и т. п.);

передача поверхности изображений планет в процессе и после посадки корабля;

управление движением планетоходов по командам с Земли;

замкнутые бортовые системы для телевизионного обслуживания космонавтов.

Самостоятельным направлением космического телевидения является ретрансляция телевизионных сигналов с помощью ИСЗ.

Организация телевизионных передач из космоса представляет собой очень сложную задачу, так как энерговооруженность космических кораблей и межпланетных автоматических станций ограничена, а протяженность линий космических радиосвязей измеряется сотнями миллионов километров. При таких огромных расстояниях и ограниченной мощности бортовых радиопередатчиков уровень телевизионных сигналов от ИСЗ, доходящих до поверхности Земли, ничтожен. Слабые телевизионные сигналы тонут в шумах. Малая мощность бортового радиопередатчика может быть скомпенсирована применением больших наземных приемных антенн и специальных малошумящих усилителей.

Для передачи телевизионных изображений с околоземных орбит используется обычный вещательный телевизионный стандарт — полоса частот при этом единицы мегагерц.

Для телевизионных передач на большие расстояния приходится использовать метод сокращения спектра телевизионного сигнала путем обмена полосы на время, т. е. применять малокадровые системы. В некоторых телевизионных космических системах время передачи одного кадра изменяется не долями секунды как обычно, а минутами.

При организации полета космических станций к другим галактикам метод обмена полосы на время становится неэффективным, и поэтому следует в дальнейшем искать другие методы сокращения спектра телевизионных сигналов, а возможно и другие принципы телевизионной передачи с отказом от метода поэлементной передачи изображения.

В гл. 2 было приведено схематическое описание двух бортовых телевизионных систем для космических аппаратов. Наиболее обстоятельное описание космических телевизионных систем читатель сможет найти в [10.1].

Глава 11

Перспективы развития телевизионной техники

Телевидение является одним из разделов радиоэлектроники, и поэтому дальнейший прогресс телевизионной техники определяется в первую очередь успехами в области освоения новых диапазонов волн для передачи информации, совершенствования систем передачи информации по электрическим и оптическим каналам

связи, развития элементной базы радиоэлектронной аппаратуры.

Бурное развитие различных радиотехнических средств заставляет осваивать все более короткие радиоволны, включая миллиметровые и даже субмиллиметровые. С каждым годом растет сеть телевизионных станций дециметрового диапазона. Для обмена программами широко используются сантиметровые волны. Однако радиоканалов для телевизионного вещания уже не хватает, и наряду с эфирным телевизионным вещанием начинает развиваться кабельное телевидение.

Большое будущее принадлежит оптическим каналам связи [11.6]. Оптические кабели на основе волоконной оптики позволяют сэкономить огромное количество цветных металлов — меди и свинца, исключают взаимные помехи между отдельными световыми волокнами, обладают колоссальной пропускной способностью. Использование оптических кабелей на летательных аппаратах значительно снижает массу радиоэлектронного оборудования и позволяет повысить полезную нагрузку.

Совершенствование радиоэлектронной аппаратуры, повышение ее электрических параметров неизбежно приводят к значительному усложнению схем и увеличению числа радиоэлементов. Появился термин «тирания количества», приводящая к значительному усложнению как разработки радиоэлектронной аппаратуры, так и ее производства и эксплуатации.

Частичный выход из создавшегося положения был найден путем замены блоков, собираемых из дискретных элементов, интегральными микроузлами — монолитными и гибридными микросхемами.

Для реализации преимуществ, даваемых применением микросхем, пришлось переходить на многослойный печатный монтаж, так как большое количество выводов каждой микросхемы чрезвычайно усложнило разводку соединительных печатных проводников на плате. Но многослойные печатные платы чрезвычайно сложны в производстве, и поэтому дальнейший прогресс идет по сути создания и широкого применения больших интегральных схем. Например, уже разработаны большие интегральные схемы, в которых на одном кристалле формируется весь блок цветности современного телевизора.

Технология создания интегральных микросхем (ИМС) основана на элементной интеграции, так как в ИМС можно выделить области, которые выполняют роль активных (диоды, транзисторы) и пассивных (резисторы, конденсаторы, катушки) элементов.

Необходимость микроминиатюризации радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) требует повышать степень интеграции ИМС путем дальнейшего сокращения габаритов элементов, что вызывает очень большие технологические трудности (чрезвычайная сложность топологии)[1], затрудняется отвод тепла и, естественно, мик-

[1] Топология — чертеж компоновки микросхемы.

роминиатюризации РЭА на основе существующих технологий имеет определенные пределы.

Поэтому в настоящее время возникло новое направление — *функциональная микроэлектроника.* Функциональная ИМС уже не напоминает обычную схему, содержащую области, эквивалентные дискретным элементам. Примером функционального устройства (правда, не в микроминиатюрном, а в обычном исполнении) может служить кварцевый резонатор, который по выполняемым функциям эквивалентен колебательному контуру. Однако в кристалле кварца нельзя выделить области, эквивалентные индуктивности и емкости — весь кристалл является аналогом колебательного контура.

В функциональной микроэлектронике используются различные новые явления в различных средах. Сама функциональная микроэлектроника имеет несколько направлений: оптоэлектроника, акустоэлектроника, магнетоэлектроника и другие.

В телевизионной технике начинает применяться новый класс приборов — фильтры с использованием поверхностных акустических волн (ПАВ), которые могут работать в диапазоне от единиц мегагерц до единиц гегагерц [11.10].

Широкое развитие в настоящее время получили цифровые методы обработки и передачи информации. Известно, что электрические сигналы подразделяются на дискретные и непрерывные (аналоговые). Примером дискретных сигналов являются телеграфные сигналы, представляющие собой посылки (импульсы) тока. Примером непрерывного (аналогового) сигнала могут быть телефонные сигналы, мгновенные значения которых повторяют изменение звукового давления перед мембраной микрофона. Телевизионные сигналы также являются аналоговыми, так как мгновенные значения телевизионного сигнала повторяют изменение освещенности элементов передаваемого изображения вдоль развертываемой строки.

Из-за нелинейности характеристик усилительных элементов (электронных ламп, транзисторов) и различного рода помех в электрических каналах связи происходит неизбежное искажение формы передаваемых сигналов, причем эти искажения по мере прохождения сигнала от источника к потребителю неизбежно накапливаются.

При передаче дискретных сигналов нелинейность усилительных элементов роли не играет, а избавиться от помех можно путем простого ограничения уровня принимаемых сигналов. Поэтому в настоящее время начало широко использоваться преобразование аналоговых сигналов в дискретную форму для их неискаженной передачи по каналам связи и последующего обратного преобразования в аналоговую форму на месте приема.

Преобразование непрерывного (аналогового) сигнала в дискретный основано на *квантовании сигнала,* т. е. передачи только отдельных значений непрерывного сигнала. Так как при таком преобразовании используются методы, применяемые в цифровых

вычислительных машинах, то такой метод получил название *цифрового преобразования сигналов* [11.3, 11.4, 11.21, 11.27].

Цифровые методы передачи успешно применяются в телевидении. В СССР был разработан комплекс оборудования для цифровой передачи сигналов телевидения по широкополосным линиям связи миллиметрового диапазона волн (система СЦТП), который успешно прошел испытания [11.9]. Цифровой метод передачи телевизионных сигналов используется на американском спутнике «Ранняя птичка», с помощью которого передавалась информация о XX Олимпийских играх в Монреале. Разрабатываемое в Советском Союзе новое оборудование для телевизионных центров четвертого поколения также будет основано на широком использовании цифровой техники [2.8].

К чисто телевизионным направлениям следует отнести работы в области совершенствования вакуумных передающих телевизионных трубок и кинескопов [11.5, 11.12]. Однако в процессе комплексной микроминиатюризации телевизионной аппаратуры возникла диспропорция между миниатюрными электронными блоками на транзисторах и микросхемах и громоздкими вакуумными телевизионными трубками.

Успехи микроэлектроники позволили вернуться к идее создания передающей матрицы из микроскопических фотоэлектрических приемников света — современная технология эту задачу решает.

Но наиболее сложным оказался вопрос сканирования — последовательного «опроса» всех элементов матрицы. Большие надежды первоначально возлагали на миниатюрные микроэлектронные коммутаторы. Затем были предложены различные способы создания «упругой» волны, бегущей вдоль строки матрицы [8.5]. Однако создание практически приемлемой конструкции твердотельного безвакуумного аналога передающей трубки стало возможным только после того, как в 1970 г. были изобретены приборы с зарядовой связью (ПЗС) [11.15].

Прибор с зарядовой связью (ПЗС) представляет собой интегральную микросхему, состоящую из упорядоченной структуры МОП (металл — окисел — полупроводник) конденсаторов, позволяющую осуществлять запись, хранение и считывание записанной информации.

Одна из обкладок МОП-конденсаторов (рис. 11.1) является общей и представляет собой полупроводниковую подложку (с электронной или дырочной проводимостью). Другими обкладками являются управляющие металлические электроды, нанесенные на поверхность слоя диэлектрика (окись кремния) [11.16, 11.21, 11.22, 11.26].

Работа ПЗС основана на использовании следующих процессов:

образование в приповерхностном слое полупроводника (под управляющими электродами) так называемых «карманов» или «потенциальных ям»;

накопление информации путем заполнения «карманов» неосновными носителями зарядов;

управляемый перенос локализованных зарядов в соседние «карманы».

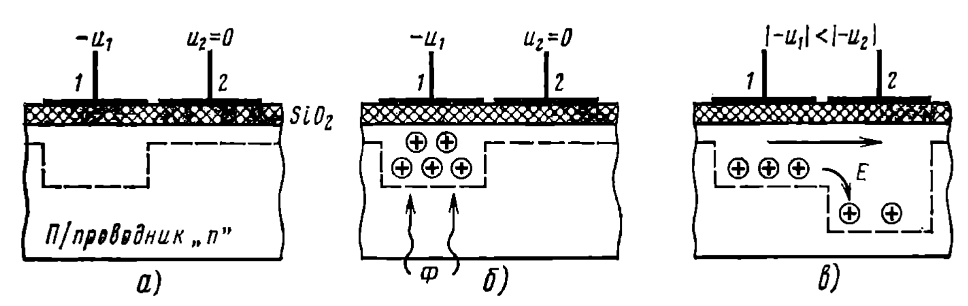


Рис. 11.1. К принципу работы приборов с зарядовой связью:
а — образование «кармана»; *б* — генерация неосновных носителей и заполнение ими «кармана», хранение локализованного заряда; *в* — перенос локализованного заряда в соседний «карман»

Допустим, на электрод *1* (рис. 11.1*а*) подан отрицательный потенциал, который заставил основные носители (электроны) под электродом *1* уйти в глубь полупроводниковой подложки. При этом под этим электродом образуется обедненная область, т. е. «карман».

Если на полупроводниковую подложку (со стороны самой подложки или со стороны полупрозрачных металлических электродов) спроецировать оптическое изображение, то под действием квантов света в материале подложки начнут генерироваться пары электрон — дырка. При этом неосновные носители — дырки — начнут заполнять «карман» и, очевидно, величина этого положительного заряда будет пропорциональна силе света, т. е. будет происходить аналоговое преобразование свет — заряд.

В приповерхностном слое полупроводника между электродами *1* и *2* возникнет электрическое поле, под действием которого заряд из «кармана» под электродом *1* начнет перетекать в более глубокий «карман» под электродом *2*. Для того чтобы обеспечить однонаправленный перенос зарядов, необходимо обеспечить определенную организацию изменения потенциалов на управляющих электродах.

При гладкой структуре ПЗС обычно используется трехшинная схема питания электродов (рис. 11.2), а при ступенчатой структуре — двухшинная. На рис. 11.2 показано несколько фаз в работе ПЗС линии. Для вывода накопленной (записанной) информации используется МОП-транзистор, в котором происходит преобразование импульсов тока, создаваемых зарядами, в импульсы напряжения на выходе ПЗС.

Таким образом, запись информации в приборах ПЗС осуществляется в аналоговой форме, а сам прибор ПЗС генерирует сигнал в импульсной форме (цифровой), т. е. сам процесс аналого-

цифрового преобразования осуществляется в самом приборе. Это свойство ПЗС упрощает построение телевизионных систем с цифровой обработкой видеоинформации.

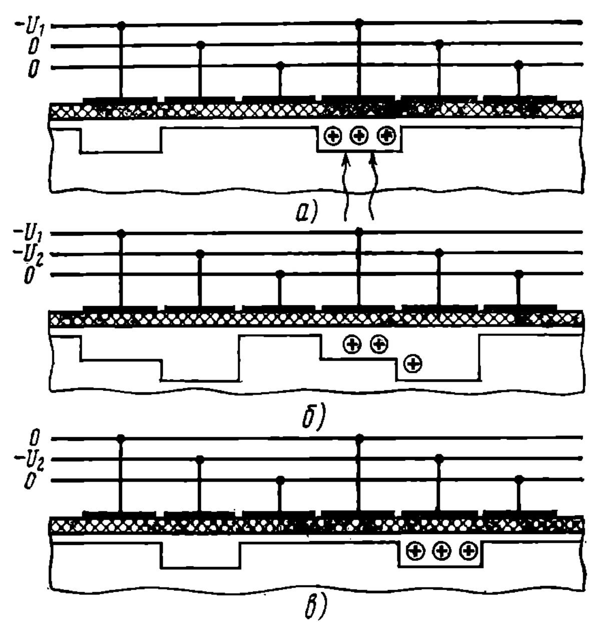


Рис. 11.2. Направленный перенос локализованных зарядов с помощью системы трехшинного управления:
а — образование «кармана» и заполнение его неосновными носителями зарядов; хранение заряда; *б* — перенос локализованного заряда в соседний «карман»; *в* — хранение перенесенного локализованного заряда

Выше было приведено краткое описание однострочного формирователя сигнала изображения, в котором используется очень важное преимущество ПЗС — самосканирование. Для сравнения напомним, что в вакуумных передающих телевизионных трубках необходим источник электронного луча и сложная система развертки (генератор развертки и отклоняющая система).

В формирователе сигналов изображения на ПЗС нет необходимости ни в вакууме, ни в мощных генераторах развертки и сложных отклоняющих системах. Для генерирования тактовых импульсов используются маломощные генераторы импульсов. На базе однострочных формирователей могут быть построены передающие телевизионные камеры, в которых развертка по кадру осуществляется с помощью оптико-механических систем (качающиеся зеркала или зеркальный барабан) или от поступательного движения объекта (например, самолет), на котором установлена телевизионная камера.

В настоящее время уже созданы образцы передающих телевизионных камер на матричных формирователях, которые делятся на два вида: с кадровым переносом (матрицы КП) и строчно-

кадровым переносом (матрицы СКП) [11.15]. В Советском Союзе разработана передающая камера на матричном формирователе с числом элементов 144×322. Вся передающая камера, включая синхрогенератор, по своим габаритам соответствует фотоаппарату ФЭД, а самый крупный узел этой камеры — фотообъектив [11.1]. Уже созданы экспериментальные образцы цветных передающих камер на трех матричных формирователях.

Преимуществами передающих камер на матричных ФВС являются очень малые габариты, отсутствие вакуумных приборов, высокая надежность, высокая экономичность по потреблению тока.

К недостаткам ПЗС, которые тормозят широкое их использование, относятся сложность технологии, требующей применения высококачественного кремния, и обеспечение исключительно низкой плотности локальных дефектов на всех стадиях технологического процесса.

В области дальнейшего совершенствования приемной телевизионной техники работы ведутся по нескольким направлениям:

повышение основных показателей качества телевизоров — его изображения и звука, помехоустойчивости, надежности и экономичности;

повышение удобства пользования телевизором (автоматические регулировки, сенсорное, дистанционное и программированное управление телевизором);

замена громоздкого кинескопа плоским телевизионным экраном;

внедрение новых принципов (цифровая селекция и цифровая настройка телевизоров);

использование новой элементной базы (микросхемы, БИС) и новые схемные решения;

расширение возможностей телевизора: возможность подключения специального телевизионного игрового устройства, возможность ввести в цветное изображение дополнительное, в виде вставки, черно-белое изображение (например, изображение входа в подъезд дома от внешней телевизионной камеры или от видеомагнитофона), возможность приема на телевизор текстовой информации (система ТЕЛЕТЕКСТ). Как показал опыт, телеигры, кроме своего прямого назначения, могут широко использоваться для обучения.

Система передачи дополнительных ТВ изображений (сокращенно СПДИ) позволяет передавать одновременно с сигналом изображения дополнительную, как правило, буквенно-цифровую информацию. Ввод этой дополнительной информации на экран телевизора происходит по желанию телезрителя. Существует два основных варианта СПДИ: с использованием всей площади экрана телевизора (в этом случае основная передаваемая ТВ программа отключается) или только части площади экрана, когда на основное изображение накладывается различного рода информация: результаты спортивного состязания, субтитры, сводки погоды, рекламные сообщения и т. п.

Предложено несколько способов передачи дополнительной информации:

временнóй метод с использованием периодов строчных или кадровых гасящих импульсов;

частотный метод уплотнения с передачей дополнительной информации на поднесущей внутри спектра основного сигнала;

передача дополнительной информации по линиям телефонной сети.

Дополнительная информация передается цифровым кодом. Для ее воспроизведения на экране телевизора необходим специальный декодер, который должен включать в себя: цепи сбора информации, запоминающее устройство и генератор знаков. Декодер может быть выполнен либо в виде отдельной приставки, либо встроен в телевизор [11.14].

Все шире применяется телевидение для прикладных целей и этому способствуют прогресс в области микроминиатюризации РЭА и переход на малогабаритные твердотельные (безвакуумные) датчики телевизионных сигналов (на основе ПЗС) [11.23].

Широкое применение получили различные телевизионные методы отображения информации — так называемый дисплей является необходимой принадлежностью современной ЭВМ [11.24]. Дисплей не только выводит на телевизионный экран результат вычислений, но и помогает оператору вести диалог с машиной.

Наличие специального устройства («светового пера») позволяет оператору вводить дополнительную информацию или производить корректировку результатов вычислений.

Развитие техники телевизионного отображения информации позволило создать целые системы для автоматического проектирования различных технических устройств [11.17, 11.19]. В таких системах вместо традиционного кульмана конструктор располагает специальным дисплеем, связанным с ЭВМ, на экране которого воспроизводится проектируемая конструкция. Конструктор при помощи светового пера корректирует чертеж. После окончания разработки конструкции вся графическая информация, воспроизведенная на экране дисплея, записывается на перфоленту. Перфолента вставляется в специальный трансмиттер, подключенный к автоматическому графопостроителю, который без участия человека вычерчивает чертеж изделия. Принципиально возможно миновать процесс вычерчивания, если перфоленту вставить в трансмиттер, связанный со станком с программным управлением.

Работа описанных выше систем автоматического проектирования основана на достижении электронного синтеза телевизионных изображений [11.7, 11.8].

Следует добавить, что дисплеи позволяют получать не только плоское, но и пространственное изображение проектируемого устройства — в виде аксонометрического чертежа. Причем конструктор имеет возможность поворачивать на экране полученное изображение и рассматривать его под различными ракурсами.

Весьма актуальной задачей остается техника передачи объемных изображений. Как известно, объемное восприятие предметов основано на бинокулярном зрении, т. е. наблюдении предметов обоими глазами: при этом правым глазом мы видим бóльшую часть левой половины предмета, а левым — большую часть правой половины. Различие изображений в правом и левом глазах создает в сознании представление об объемности предмета.

Фотосъемка обычной камерой дает плоское изображение, т. е. только в двух измерениях. Такое же плоское изображение получается и при телевизионной передаче, так как передаваемый объект воспроизводится только с одной точки (одним объективом).

Для получения объемных фотографий используются специальные фотоаппараты, представляющие собой две спаренные фотокамеры, установленные на некотором расстоянии друг от друга (так называемая база). В процессе съемки получается два снимка — правый и левый (так называемая стереопара). Стереоскопический (объемный) эффект создается, если правое изображение стереопары рассматривать только правым глазом, а левое — только левым. В простейших индивидуальных стереоскопах это достигается с помощью перегородки, которая позволяет глазу видеть только «свое» изображение.

В случае проекции стереопары на большой экран для разделения изображений применяются либо индивидуальные средства (очки), либо специальные экраны. В простейшем случае левое и правое изображения окрашиваются в два различных цвета и зрители снабжаются очками с разноцветными стеклами. В другой системе используются поляризационные фильтры на объективах проекционных аппаратов и в очках наблюдателя (зрителя). При этом плоскости поляризации правого и левого изображений должны быть взаимно перпендикулярны.

Для телевизионной передачи объемных изображений также необходимо образовать стереопару путем использования двух передающих камер. Для наблюдения телевизионного стереоскопического изображения необходимо использовать стереоскопическое видеоконтрольное устройство либо на двух отдельных кинескопах, либо на одном, но при условии использования экранных методов разделения изображений (разноцветные очки, либо поляроиды).

Совершенно очевидно, что система объемного телевидения требует образования двух раздельных каналов сигналов изображений.

Сотрудниками кафедры телевидения Ленинградского института связи им. М. А. Бонч-Бруевича под руководством заслуженного деятеля науки и техники проф. П. В. Шмакова были проведены успешные опыты по передаче стереоизображений с использованием каналов $R—Y$ и $B—Y$ системы цветного телевидения. Прием изображений осуществлялся на цветные телевизоры с небольшой приставкой, а телезрители снабжались очками с синими и красными стеклами.

Разработаны и применяются различные стереотелевизионные установки специального назначения. Ведутся также поисковые работы по исследованию других способов получения объемных телевизионных изображений, например многоракурсные системы [11.25].

Большие надежды возлагаются на использование в телевидении принципов голографии [11.13]. Метод голографии был изобретен в 1947 г. Деницом Габором (Англия) и независимо от него в 1962 г. Ю. Н. Денисюком (СССР)[1]. Сущность метода голографии состоит в том, что объект съемки освещается мощным когерентным пучком света (луч лазера) и отраженный объектом свет падает на фотопластинку (рис. 11.3*а*). Одновременно на фото-

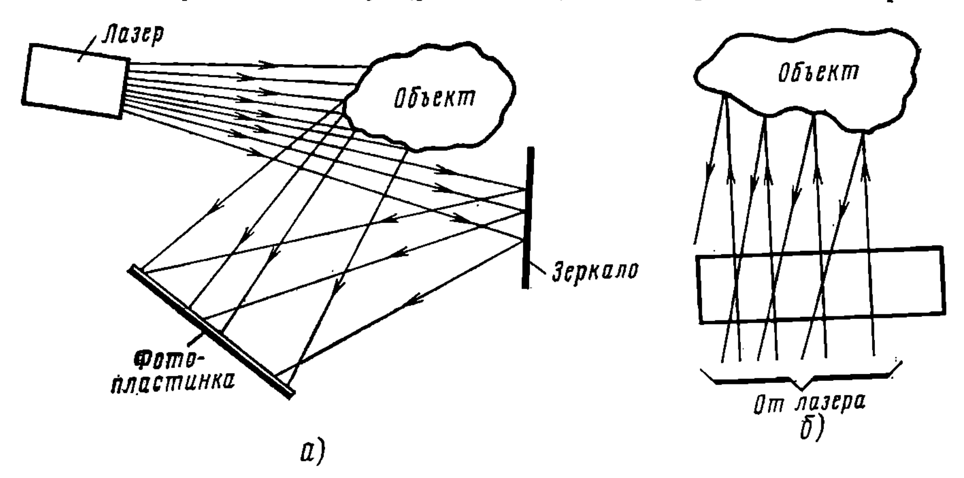


Рис. 11.3. Принцип получения голограмм:
а — по Габору (плоская голограмма); *б* — по Денисюку (объемная голограмма)

пластинку падают прямые («опорные») лучи того же лазера. В результате интерференции на фотопластинке возникает голограмма — интерференционная картинка, совершенно не похожая на объект съемки, представляющая собой очень тонкие и причудливые узоры (расстояние между двумя соседними линиями этого узора соизмеримо с длиной световых волн, т. е. доли микрона).

Для наблюдения («восстановления») изображения голограмму необходимо просветить источником когерентного света — лазером. Ю. Н. Денисюк разработал метод получения трехмерных голограмм в объеме толстых светочувствительных фотопленок (рис.

[1] Метод голографии был изобретен Д. Габором в 1948 г., когда еще не было современных мощных когерентных источников света (лазеров), и поэтому первоначально практически не использовался и оценен по достоинству не был.

Следует добавить, что 1948 г. совпал с периодом «холодной» войны, когда научно-техническая информация и контакты с учеными капиталистических стран были ограничены. Не имея информации об изобретении Д. Габора, советский физик Ю. Денисюк пришел к идее голографии самостоятельно, в результате чего им был предложен оригинальный метод получения трехмерных (объемных) голограмм в толстых фотопленках.

11.3б). Преимуществом этого метода является возможность восстанавливать голограмму в лучах белого (некогерентного) света.

Было предложено много различных вариантов использования методов голографии в телевидении. Самым простым оказался способ передачи отснятых голограмм и фиксирования на фотопленке принятого изображения с последующим восстановлением в лучах лазера. Этот метод напоминает телевизионную передачу с предварительной записью программы на магнитной ленте.

Можно обойтись без предварительной записи голограммы на фотопленке и непосредственно проецировать отраженные объектом лучи (в совокупности с опорным лучом) на фотокатод передающей трубки.

Для восстановления принятого изображения на приемной станции без использования промежуточного фотоизображения на пленке можно использовать вместо обычного кинескопа трубки с темневой записью, проекционные телевизионные системы «Эйдорф», а также ряд других методов.

Главное препятствие на пути голографического телевидения — это необходимость в очень широкополосных каналах, на два-три порядка превышающих по ширине стандартный канал вещательного телевидения, что вызвано очень высокой детальностью голограммы.

Предложены следующие пути разрешения этого противоречия:

сокращение голографической информации;

обмена полосы на время (малокадровые системы);

уменьшение размеров анализируемого участка голограммы.

Большой интерес к методам голографии проявляют работники кинематографии, и в решении этой проблемы происходит дальнейшая интеграция телевизионной и кинотехники.

Начиная книгу, авторы говорили о том, что создатели телевизионных систем взяли на вооружение ряд принципов кинематографа: покадровую передачу, обтюрацию для повышения частоты мерцания. В настоящее время происходит обратный процесс — кинематограф начинает использовать телевизионную технику. Например, при съемке кинофильма вместо киносъемочной камеры начинают применять передающую телевизионную камеру и изображение фиксируется не на киноленте, а записывается на видеомагнитофоне. Закончив съемку кадра, режиссер и артисты могут прямо на съемочной площадке просмотреть эту запись (не надо ждать несколько часов, пока пленку проявят и отпечатают позитив) и в случае необходимости переснять сцену.

Уже появляются кинотелевизионные театры, в которых вместо обычных проекционных киноаппаратов используются телевизионные проекторы, заряженные не кино-, а магнитной лентой. В большом городе можно иметь одну центральную аппаратную, оборудованную видеомагнитофонами, которая будет соединена с кинотелевизионными театрами кабельными линиями.

Выступая на торжественном заседании, посвященном 80-летию со дня изобретения радио А. С. Поповым, профессор П. В.

Шмаков отмечал, что телевизионная техника сегодня достигла высокой степени совершенства. Наши восприятия ограничиваются только визуальным наблюдением и приемом акустической информации. Но ведь у человека есть еще осязание, органы обоняния и вкуса. Пока телевидение обеспечивает нам «эффект присутствия» при тех событиях, которые развертываются перед телевизионной камерой. Желательно обеспечить «эффект участия», чтобы человек мог не только видеть на расстоянии предметы в естественных цветах, но и осязать их (пощупать), ощутить запахи и «попробовать на вкус». Это может показаться фантастикой. Но успехи физиологии говорят о том, что это вполне реально. Конечно, у нас нет еще совершенных датчиков запаха и вкуса. Мы еще не научились воспроизводить запахи (правда, в некоторых кинотеатрах устанавливаются специальные баллоны и зрительный зал может наполняться то запахом хвои или моря, то благоуханием цветущего сада). Но вызвать соответствующие ощущения можно и непосредственно воздействуя на соответствующие центры нашего мозга электрическими импульсами.

Нейрофизиологи, психологи, нейрокибернетики совместно со специалистами телевидения уже работают над созданием «кресла комфорта» с вмонтированными в него специальными электродами и индукторами для «подключения» к телезрителю сигналов, несущих информацию о запахе, вкусе, осязании и т. п. Конечно, эти сигналы должны быть безвредными для человека.

В грандиозных планах, намечаемых нашей партией, большая роль отводится дальнейшему развитию радиоэлектроники и одному из интереснейших ее разделов — телевидению.

Список литературы

1.1. **Варбанский А. М.** Телевидение. М.: Связь, 1973.

1.2. **Зворыкин В. К. и Мортон Д. А.** Телевидение. Вопросы электроники в передаче цветного и монохромного изображения/Пер. с англ. Иностранная литература, 1956.

1.3. **Колин К. Т., Аксентов Ю. В., Колпенская Е. Ю.** Основы телевидения. М.: Связь, 1973.

1.4. **Костыков Ю. В., Крыжановский В. Д.** Телевидение (Физические основы). М.: Связь, 1972.

1.5. **Основы** электронного телевидения/Под ред. Ф. Шретера. Пер. с нем. М.: Энергия, 1965.

1.6. **Рыфтин Я. А.** Телевизионная система. Теория. М.: Сов. радио, 1967.

1.7. **Самойлов В. Ф., Хромой Б. П.** Телевидение. М.: Связь, 1975.

1.8. **Телевидение**/Под ред. П. В. Шмакова. М.: Связь, 1979.

1.9. **Теоретические** основы электрической передачи изображений. Телевидение и фототелеграфия/Орловский Е. Л., Халфин А. М., Заварин Г. Д., Круссер Б. В., Щелованов Л. Н. М.: Сов. радио, 1962.

1.10. **Телевидение.** Сборник статей. М.: Сов. радио, 1974.

1.11. **Телевизионная** техника. Научно-технический сборник/Под общей редакцией А. В. Гороховского и М. И. Кривошеева. М.: Связь, 1971.

1.12. **Халфин А. М.** Основы телевизионной техники. М.: Сов. радио, 1955.

1.13. **Халфин А. М.** Телевизионная техника (Основы и применение). М.: Энергия, 1971.

1.14. **Кацнельсон Б. В., Калугин А. М.** Электровакуумные и электронные и ионные приборы. Справочник/Под ред. А. С. Ларионова. М.: Энергия, 1976.

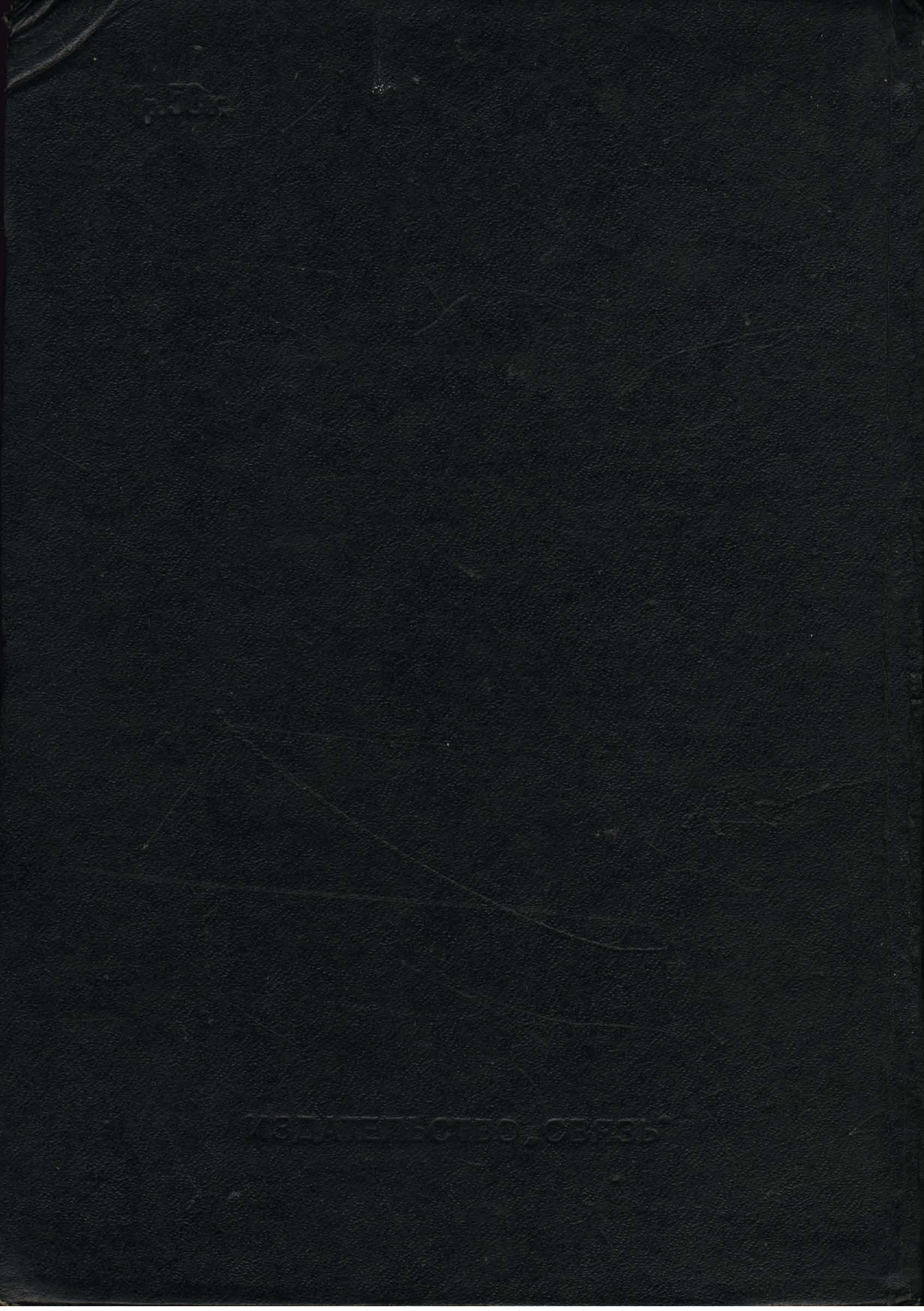
1.15. **Справочник** по телевизионной технике: Пер. с англ./Под ред. Д. Дж. Финка. Госэнергоиздат, 1962.
1.16. **Справочник** по телевидению. Изд. 2-е испр. и доп./Омельяненко Ю. И., Алексеев К. А., Константиновский А. Г., Засс Л. В., Антонишин В. З. Киев: Техніка, 1964.
2.1. **Анисимов И. И., Глуховской Б. М.** Фотоэлектронные умножители. М.: Сов. радио, 1974.
2.2. **Бузанов Л. К., Глиберман А. Я.** Полупроводниковые фотоприемники. М.: Энергия, 1969.
2.3. **Гершберг А. Е.** Передающие телевизионные трубки с внутренним фотоэффектом. М.: Энергия, 1973.
2.4. **Гершберг А. Е.** Электростатические видиконы. М.: Энергия, 1969.
2.5. **Гуревич С. Б.** Физические процессы в передающих телевизионных трубках. М.: Физматгиз, 1953.
2.6. **Достижение** в технике передачи и воспроизведение изображения/Том 1: Пер. с англ./Под ред. Б. Кейзана. М.: Мир, 1978, т. 1.
2.7. **Зайдель И. Н., Куренков Г. И.** Электронно-оптические преобразователи. М.: Сов. радио, 1970.
2.8. **Золотарев В. Ф.** Безвакуумные аналоги телевизионных трубок. М.: Энергия, 1972.
2.9. **Костыков Ю. В.** Приемные телевизионные трубки. М.: Госэнергоиздат, 1962.
2.10. **Кноль М., Кэйзан Б.** Электронно-лучевые трубки с накоплением зарядов: Пер. с англ. М.: Госэнергоиздат, 1955.
2.11. **Овечкин Ю. А.** Полупроводниковые приборы. М.: Высшая школа, 1974.
2.12. **Преобразователь** свет—сигнал в телевизионных системах/Короленко В. Н. и др. М.: Связь, 1978.
2.13. **Роуз А.** Зрение человека и электронное зрение: Пер. с англ. М.: Мир, 1977.
2.14. **Федотов Я. А.** Основы физики полупроводниковых приборов. М.: Сов. радио, 1969.
2.15. **Цуккерман И. И.** Электронная оптика в телевидении. М.: Госэнергоиздат, 1958.
2.16. **Алексеев И. А., Вильдгрубе Г. С.** Отечественные приемные телевизионные трубки. — В кн.: Техника кино и телевидения. М.: 1967 № 10, с. 36—40.
2.17. **Однотрубочные** передающие камеры цветного телевидения/Афанасьев Ю. И., Коршунов О. Г., Однолько В. В., Тарасов Ю. Н. Фомин А. С. — В кн.: Техника кино и телевидения. М.: 1975, № 11, с. 41—47.
2.18. **Вамбера К.** О камерах для цветного телевидения. — В кн.: Техника кино и телевидения. М.: 1972, № 2, с. 46—52.
2.19. **Достижения** в технике передачи и воспроизведения изображений/Пер. с англ./Под ред. Б. Кейзана. М.: Мир, 1979.
2.20. **Новые** советские передающие телевизионные приборы/Вильдгрубе Г. С., Малахов И. К., Степанов Р. М., Урвалов В. А. — В кн.: Техника кино и телевидения, 1977, № 10, с. 42—48.
2.21. **Крейцер В. Л., Берковский К. Ф.** Новый фотопреобразователь—сканистор. — В кн.: Техника кино и телевидения, 1967, № 4, с. 40—47.
2.22. **Малахов И. К., Нефедьев А. П., Урвалов В. А.** Разработка телевизионных передающих трубок в СССР. — В кн.: Техника кино и телевидения. М.: 1967, № 10, с. 30—35.
2.23. **Малахов И. К.** Безвакуумные преобразователи телевизионных изображений. — В кн.: Техника кино и телевидения. М.: 1969, № 9, с. 77—84.
2.24. **Малахов И. К., Морозов Г. А.** Пути получения трех цветных сигналов от одной передающей трубки. — В кн.: Техника кино и телевидения. М.: 1958, № 1, с. 31—39.
2.25. **Малахов И. К.** Безвакуумные преобразователи телевизионных изображений. — В кн.: Техника кино и телевидения. М.: 1969, № 9, с. 77—84.
2.26. **Нефедьев А. П. и Урвалов В. А.** Передающие и приемные телевизионные трубки. — В кн.: Техника кино и телевидения. М.: 1970, № 6, с. 43—49.

2.27. **Товбин М. Н.** Штриховые светофильтры в камерах цветного телевидения. — В кн.: Техника кино и телевидения. М.: 1973, № 11, с. 43—48.
3.1. **Миллер В. А., Куракин Л. А.** Приемные электронно-лучевые трубки. М.: Энергия, 1964.
3.2. **Шерстнев Л. Г.** Электронная оптика и электронно-лучевые приборы. М.: Энергия, 1971.
3.3. **Костыков Ю. В.** Приемные телевизионные трубки. М.: Энергия, 1962.
3.4. **Ангафоров А. П.** Оконечные устройства приемников цветного телевидения. М.: Связь, 1971.
3.5. **Золотарев В. Ф.** Безвакуумные аналоги телевизионных трубок. М.: Энергия, 1972.
3.6. **Головихина В. П., Золотарев В. Ф.** Телевизор без трубки. М.: Энергия, 1975.
4.1. **Гарб М. Г., Сигалов В. М.** Синхронизация в телевизионной технике. М.: Связь, 1964.
4.2. **А. с.** 114686 (СССР). Способ генерирования сигналов синхронизации/Крыжановский В. Д.
4.3. **Лейтес Л. С.** Аппаратура формирования сигнала черно-белого телевидения. М.: Связь, 1970.
4.4. **Пряхин Б. П.** Способы синхронизации в совместимой системе цветного телевидения. ТКиТ, 1953, № 3.
4.5. **А. с.** 62042 (СССР). Задающая система синхронизирующего генератора/Рогинский М. В.
5.1. **Самойлов В. Ф.** Генератор телевизионной развертки. М.: Связь, 1966.
5.2. **Нейман В. Е., Певзнер И. М.** Новое в технике приема телевидения. М.: Энергия, 1964.
5.3. **Тихомиров В. С.** Кадровая развертка на транзисторах. М.: Энергия, 1968.
5.4. **Тихомиров В. С.** Синхронизация и развертка в транзисторном телевизоре. М.: Энергия, 1970.
5.5. **Рабинович М. Н.** Синхронизация кадровой развертки. М.: Энергия, 1976.
5.6. **Баскир И. Н., Людомирский И. Я.** Синхронизация в телевизорах. М.: Связь, 1974.
5.7. **Самойлов В. Ф.** Транзисторные генераторы телевизионной развертки. М.: Связь, 1969.
6.1. **Александрова Т. С.** Проектирование усилителей телевизионных сигналов. М.: Связь, 1971.
6.2. **Брауде Г. В.** Коррекция телевизионных и импульсных сигналов. — Сборник статей. М.: Связь, 1967.
6.3. **Костыков Ю. В.** Шумовые помехи в телевидении. М.: Энергия, 1977.
6.4. **Лейтес Л. С.** Аппаратура формирования сигнала черно-белого телевидения. М.: Связь, 1970.
6.5. **Шейфис И. И.** Способы улучшения качественных показателей видеотракта телевизионных центров. М.: Связь, 1967.
7.1. **Айсберг Е., Дури Ж.-П.** Цветное телевидение?... Это почти просто: Пер. с франц. М.: Энергия, 1969.
7.2. **Бартосяк А.** Система цветного телевидения СЕКАМ. М.: Связь, 1968.
7.3. **Кайвер М. С.** Основы цветного телевидения/Пер. с англ. Иностранная литература, 1957.
7.4. **Новаковский С. В.** Стандартные системы цветного телевидения. М.: Связь, 1976.
7.5. **Певзнер Б. М.** Системы цветного телевидения. Л.: Энергия, 1969.
7.6. **Салгус К. К.** Принципы построения совместимых систем цветного телевидения. М.—Л.: Госэнергоиздат, 1959.
7.7. **Самойлов В. Ф., Хромой Б. П.** Системы цветного телевидения. М.: Энергия, 1971.
7.8. **Техника** цветного телевидения/Под ред. С. В. Новаковского. М.: Связь, 1976.
7.9. **Финк, Дональд Г.** Стандарты цветного телевидения. М.—Л.: Госэнергоиздат, 1960. Пер. с англ./Под ред. И. С. Джигита.
7.10. **Новаковский С. В.** Цветное телевидение (Основы теории цветовоспроизведения). М.: Связь, 1975.

8.1. **Гроднев И. И., Дмитраченко В. М.** Перспективы развития направляющих систем междугородной связи. — Электросвязь. М.: 1976, № 2, с. 4—16.
8.2. **Кантор Л. Я., Цирлин В. М.** Современные методы передачи и приема сигналов в системе спутниковой связи. — Радиотехника. 1977, № 11, с. 58—64.
8.3. **Клименко Г. К.** Видеопластинка. М.: Энергия, 1976.
8.4. **Кривошеев М. И.** Технические средства телевизионного вещания. — В кн.: 80 лет радио. М.: Связь, 1975, с. 38—60.
8.5. **Росселевич И. А., Фарбер Е. И., Харчикян Р. С.** Развитие технических средств студийного и внестудийного телевизионного вещания в СССР. — Техника кино и телевидения, 1977, № 10, с. 49.
8.6. **Система** спутникового телевизионного вещания «Экран». — Электросвязь, 1977, № 5, с. 5—23.
8.7. **Техника** магнитной видеозаписи/Под ред. В. И. Пархоменко. М.: Энергия, 1978, 400 с.
8.8. **Фортушенко А. Д., Быков В. Л.** Спутниковые системы передачи информации. — В кн.: 80 лет радио. М.: Связь, 1975, с. 80—93.
8.9. **Шамшин В. А.** Состояние и перспективы развития передающей сети телевизионного вещания. — Электросвязь, 1977, № 5, с. 1—4.
8.10. **Техника** цветного телевидения/Под ред. С. В. Новаковского. М.: Связь, 1976.
9.1. **Бриллиантов Д. П.** Расчет и конструирование портативных транзисторных телевизоров. М.: Связь, 1971.
9.2. **Фельдман Л. Д.** Черно-белый телевизор. М.: Энергия, 1975.
9.3. **Громов Н. В., Тарасов В. С.** Телевизоры. Справочная книга. Лениздат, 1971.
9.4. **Киш-Селдеми Ференц.** Новое в технике телевизионного приема: Пер. с венгерского. М.: Связь, 1976.
9.5. **Кузинец Л. М., Метузалем Е. В., Рыманов Е. Л.** Техническое обслуживание телевизионных приемников и антенн. Справочник. М.: Связь, 1973.
9.6. **Ломозова Н. З., Сорокина Г. М.** Прием телевидения в дециметровом диапазоне волн. М.: Связь, 1971.
9.7. **Ельяшкевич С. А.** Телевизоры. Справочные материалы. М.: Энергия, 1974.
9.8. **Самойлов Г. П., Скотин В. А.** Промышленные телевизоры. М.: Изд. ДОСААФ, 1976.
9.9. **Ельяшкевич С. А.** Автоматическое управление в телевизорах. М.: Энергия, 1975.
9.10. **Булыч В. И.** Цветное телевидение. М.: Изд. ДОСААФ, 1975.
9.11. **Ельяшкевич С. А.** Отыскание неисправностей и настройка цветных телевизоров. М.: Энергия, 1976.
9.12. **Кузинец Л. М., Метузалем Е. В., Рыманов Е. А.** Телевизионные приемники и антенны. Справочник. М.: Связь, 1974.
9.13. **Почепа А. М., Фомин Н. Ф.** Эксплуатация и ремонт цветных телевизоров. Одесса: Маяк, 1976.
9.14. **Новаковский С. В.** Основные направления современного телевизоростроения. — Техника кино и телевидения, 1977, № 11.
9.15. **Сухов К. Н., Олдин А. Ф., Чистов В. М.** Микросхемы серии К-224 в телевизоре цветного изображения. М.: Сов. радио, 1976.
9.16. **Хохлов Б. Н.** Декодирующее устройство цветных телевизионных приемников. М.: Связь, 1973.
9.17. **Цветные** телевизоры и их эксплуатация/Под ред. С. В. Новаковского. М.: Связь, 1974.
10.1. **Брацлавец П. Ф., Росселевич И. А., Хромов Л. И.** Космическое телевидение. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Связь, 1973.
10.2. **Быков Р. Е., Коркунов Ю. Ф.** Телевидение в медицине и биологии. Л.: Энергия, 1968.
10.3. **Кондратьев А. Г., Лукин М. И.** Техника промышленного телевидения. Лениздат, 1970.
10.4. **Костыков Ю. В.** Основы проектирования систем и аппаратуры прикладного телевидения. М.—Л.: Энергия, 1964.

10.5. **Полоник В. С.** Прикладное телевидение. М.—Л.: Госэнергоиздат, 1962.
10.6. **Полоник В. С.** Телевизионные автоматические устройства. М.: Связь, 1974.
10.7. **Системы** промышленного телевидения/Под ред. С. И. Зеленского и К. В. Михалкова. М.—Л.: Госэнергоиздат, 1962.
10.8. **Телевидение**/Под ред. М. В. Антипина. М.: Сов. радио, 1974.
11.1. **Телевизионная** камера на матрице приборов с зарядовой связью/Березин В. Ю., Котов Б. А., Лазовский Л. Ю. и др. — Техника кино и телевидения, 1977, № 6, с. 54—59.
11.2. **«Интерспутник»** — международная система спутниковой связи/Бородич С. В., Быков В. Л., Кантор Л. Я. и др. — Электросвязь, 1977, № 11, с. 49—57.
11.3. **Валитов М. С.** Микроэлектроника в цифровой технике. М.: Знание, 1977.
11.4. **Виленчик Л.** Телевидение без помех. — Радио, 1975, № 1, с. 15—16.
11.5. **Новые** советские передающие телевизионные приборы/Вильдгрубе Г. С., Малахов И. К., Степанов Р. М. и др. — Техника кино и телевидения, 1977, № 10, с. 42—49.
11.6. **Гроднев И. И., Коршунов В. Н., Шитов В. В.** Конструкции и характеристики современных оптических кабелей связи. — Электросвязь, 1978, № 7, с. 2—18.
11.7. **Гуглин И. Н.** Изображение без объекта. — Радио, 1974, № 11, с. 15.
11.8. **Гуглин И. Н.** Электронный синтез телевизионных изображений. М.: Сов. радио, 1979.
11.9. **Цифровая** передача сигналов телевидения по широкополосным линиям связи миллиметрового диапазона/Дмитраченко В. М., Ветюгов А. И., Веленчик Л. С. и др. — Электросвязь, 1975, № 9, с. 33—39.
11.10, 11.11. **Знаменский А. Е.** Фильтры с использованием поверхностных акустических волн. — Электросвязь, 1977, № 12, с. 33—39.
11.12. **Катаев С. И., Новаковский С. В.** Техника отечественного телевизионного вещания. К 60-летию Советского государства. — Радиотехника, 1977, № 11, с. 31—44.
11.13. **Копылов П. М., Тачков А. Н.** Телевидение и голография. М.: Связь, 1976.
11.14. **Красносельский И. Н.** Системы передачи дополнительных ТВ изображений. — Техника кино и телевидения, 1977, № 6, с. 77—80.
11.15. **Микроэлектроника** и полупроводниковые приборы. — Сб. статей, вып. 3. М.: Сов. радио, 1978.
11.16. **Минделевич С., Филатов С.** Телекамера в кармане. — Радио, 1978, № 2, с. 15—16.
11.17. **Ньюмен У., Спрулл Р.** Основы итерационной машинной графики: Пер. с англ. М.: Мир, 1976.
11.18. **Полонский А. Б.** Проблемы реализации абонентской видеотелефонной связи. — Электросвязь, 1972, № 10, с. 17—27.
11.19, 11.20. **Принс М. Д.** Машинная графика и автоматизация проектирования. М.: Сов. радио, 1975.
11.21. **Свириденко В. А.** Цифровая техника в системах связи. М.: Знание, 1977.
11.22. **Секен К., Томпсет М.** Приборы с переносом заряда: Пер. с англ. М.: Мир, 1978.
11.23. **Селиванов А. С.** Космическое телевидение на службе науки и народного хозяйства. — Техника кино и телевидения, 1977, № 10, с. 61—67.
11.24. **Телевизионные** методы и устройства отображения информации/Под ред. М. И. Кривошеева. М.: Сов. радио, 1975.
11.25. **Тельнов Н. И.** Телевизионная техника в кинопроизводстве. М.: Искусство, 1978.
11.26. **Федотов Я. А.** Полупроводниковая электроника. Год 2001-й. М.: Сов. радио, 1975.
11.27. **Фортушенко А., Пирогов А.** Цифровые способы передачи — новый шаг в технике связи. — Радио, 1978, № 9, с. 14—15.

Предметный указатель


ИЗДАТЕЛЬСТВО „СВЯЗЬ"